

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Objek Penelitian

Jika berbicara terkait roket dan pengujiannya, sistem peluncuran roket membutuhkan suatu sistem penyala awal agar sistem propulsi dapat berjalan dengan baik. Hal ini menjadi fokus penelitian, yang mana menurut (Supriyatno, 2009) penyala awal ialah suatu elemen di dalam roket yang juga tersusun oleh squib, isian piroteknik dan tabung.

Penelitian ini berfokus dalam membuat desain konsep sistem keselamatan penyala awal untuk pembakaran pada motor roket X yang disamakan, yaitu X kaliber 450mm. Mekanisme penyala awal yang dioperasikan yaitu bermula dengan *squib* yang dialiri arus listrik, akan teraktivasi sehingga menghasilkan percikan atau nyala api yang membakar *fusehead*, api tersebut akan menyalakan bahan baku piroteknik yang terdapat di dalam tabung penyala awal, dan mengeluarkan nyala api yang akan membakar propelan di dalam tabung motor roket.

Jika berbicara tentang jenis penyala awal yang dipertimbangkan dari posisi pemasangannya, menurut (Supriyatno, 2009) penyala awal dalam sebuah proses pembakaran didalam roket dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu :

- a. Penyala awal yang terpasang disisi depan roket (*cap*)
- b. Penyala awal yang terpasang disisi nosel (belakang roket)
- c. Penyala awal yang terpasang di tengah-tengah propelan di dalam ruang bakarnya, yang berfungsi untuk membakar propelan dari dalam.

Dalam penelitian ini, penulis hanya fokus dalam membahas *igniter* berjenis *cap* yang ditempatkan di sisi depan roket. Adapun jenis

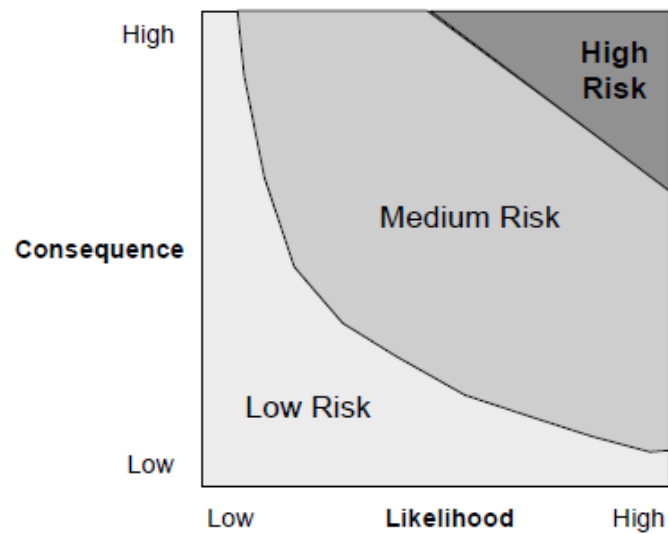
piroteknik *igniter* yang digunakan adalah jenis *composite* yang sesuai dan digunakan pada operasi roket X 450.

Aspek *safeguard* dari inisiator muncul sebagai ciri desain dasar yang merujuk pada buku *ignition system for solid rocket motor* (Alka Suri, 2020) berupa :

- a. Ambang minimum daya listrik yang diperlukan untuk aktivasi penyalat awal sebagai pemacu pembakaran.
- b. Ketentuan sebagai penyumbatan tegangan (biasanya celah udara atau semikonduktor pada rangkaian listrik)
- c. Daya tanggap hanya terhadap gelombang energi atau pita frekuensi tertentu, sehingga dapat terhindar dari gangguan ataupun energi lain yang bergesekan.

Untuk penelitian ini, penulis berfokus pada sistem penyalat awal yang berposisi pada sisi depan roket (*Cap*). Pertimbangan yang dilakukan dalam melakukan desain konseptual berupa daftar kebutuhan pengguna, dan penilaian risiko pada proses pengujian dan teknis. Adapun penilaian risiko yang menjadi referensi dalam fundamental of *risk assessment* penelitian ini adalah metode HIRADC *Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control*, memiliki dua komponen seperti yang diilustrasikan pada Gambar dibawah :

- a. Kemungkinan suatu peristiwa akan terjadi.
- b. Konsekuensi yang tidak diinginkan dari suatu peristiwa jika itu memang terjadi.



Gambar 4. 1. Tingkat Risiko

Sumber : INCOSE, 2006

4.2. Pengumpulan data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan aspek primer dan sekunder terkait pengambilan data. Adapun aspek primer untuk mendapatkan data primer dikumpulkan dengan menggunakan metode wawancara dan observasi.

Aspek primer, bagian ini menjelaskan pengumpulan data penelitian yang diperoleh melalui kegiatan wawancara ahli terhadap narasumber yang memiliki kompetensi dan pengalaman dalam sistem penyalah awal. Data yang dimaksud adalah data kebutuhan pengguna "*User requirement*" yang menjadi syarat dan prioritas dalam pembuatan desain konsep sistem keselamatan penyalah awal.

Adapun yang penulis wawancarai dalam kegiatan wawancara ahli salah satunya bersama dengan Ibu Evi Lestariana selaku peneliti sekaligus PIC sistem *firing* dan *igniter*. Adapun bapak Ganjar Nurdiansyah serta Wicaksono di Instansi X divisi Pusat Teknologi Roket (PUSTEKROKET) selaku staf teknik yang dimiliki oleh instansi.

Dalam kegiatan tersebut, penulis mendapatkan data wawancara sebagaimana pernyataan narasumber sebagai berikut:

“Penelitian sistem keselamatan memang diperlukan dalam sistem ini. Belum lama ini, pihak instansi X mengadakan pelatihan Keselamatan dan Kesehatan Kerja sebagai upaya dalam penanganan jika sistem terjadi kegagalan yang berdampak pada sistem dan keselamatan pekerja”.

Dalam hal ini, beliau juga menambahkan terkait kegagalan roket, sebagaimana pernyataan narasumber sebagai berikut :

“Memang dibutuhkan sistem yang dapat melindungi penyala awal agar tidak gagal dan dapat bekerja secara maksimal, dalam hal ini pihak kami telah melakukan inspeksi sebelum berjalannya proses pengujian dan evaluasi sesudah pengujian, semuanya dilakukan secara langsung (manual). Masih saja terkadang terjadi kegagalan seperti *squib* tidak menyala, *igniter* tidak menyala, *nozzle* tersumbat yang dapat menimbulkan ledakan, roket lepas dari testbed, dan lain lain namun tidak sampai menimbulkan korban jiwa”.

“Kegagalan yang ada di instansi X dilakukan pada saat pengujian, dengan intensitas kegagalan 1:10 pengujian. Sumber kegagalan tersebut diantaranya adalah gagalnya pembakaran pada penyala awal, sistem kelistrikan yang terjadi konsleting Sehingga gagal dalam penyalaan, hasil yang tidak memuaskan karena waktu delay yang tinggi diatas 3 detik pada penyala awal, roket gagal menyala, serta roket yang gagal meluncur.”

Dalam hal kegagalan ini, penulis juga melakukan wawancara serupa dengan pihak instansi Y, dan didapatkan data kegagalan pada Tahun 2018, sebagaimana tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4. 1. Contoh kasus kegagalan roket Y dalam 5 kali pengujian

ROKET KE	ELEVASI	AZIMUTH	WARHEAD	SASARAN LAUT/DARAT	JARAK JATUHAN	KETERANGAN
1	40	88	TAJAM	LAUT	± 15 Km	<i>Trajectory</i> berbelok ke kiri setelah <i>launch</i> pada T=7 derajat
2	40	88	TAJAM	LAUT		Gagal meluncur meskipun dilaksanakan 4x <i>firing</i>
3	40	88	TAJAM	LAUT	± 17 Km	<i>Trajectory</i> berbelok ke kanan setelah <i>launch</i> pada T=15 derajat
4	40	88	TAJAM	LAUT	± 17 Km	<i>Trajectory</i> <i>woobling</i> dan menukik pada T=9 derajat
5	40	88	TAJAM	LAUT	± 17 Km	<i>Trajectory</i> meluncur lurus namun roket <i>woobling</i> pada T=16 derajat

Sumber : Dirahasiakan. 2018

Adapun kegagalan terkait sistem penyalat awal yang selama ini terjadi, penulis juga melakukan wawancara tambahan pada instansi Z. Dalam kegiatan tersebut, penulis mewawancarai bapak Mayor Arh. Mohammad Ali sebagai tim balistik dan roket, dan penulis mendapatkan hasil wawancara sebagaimana pernyataan narasumber sebagai berikut:

“kegagalan igniter pada pengujian roket, biasanya diakibatkan oleh nilai kalor igniter rendah, waktu delay yang tinggi, dan juga nilai kalor igniter yang terlalu tinggi dapat menyebabkan ledakan saat pengujian berlangsung”

“Dalam kurun waktu satu Tahun, instansi Z memiliki hingga 10 kegiatan pengujian dan peluncuran roket. Adapun kegagalan yang terjadi memiliki frekuensi 1 : 5 hingga 2 : 10. Contoh yang dapat diambil yaitu pada Tahun 2015, instansi Z melakukan pengujian sebanyak 5 kali, dan didapatkan kegagalan yang menyebabkan ledakan sebanyak 1 kali dari 5 kali pengujian tersebut. Adapun di Tahun 2017, instansi Z juga melakukan pengujian sebanyak 10 kali, dan 2 diantaranya mengalami kegagalan yang menyebabkan ledakan.

Ditinjau pada tabel 4.1 diatas, didapatkan kegagalan yang terjadi berupa roket yang gagal meluncur yang disebabkan sistem firing tidak bekerja secara semestinya hingga mengakibatkan igniter tidak menyala. Hal ini sejalan dengan penelitian yang melakukan

perancangan desain konsep sistem penyala awal. Ditinjau pada hasil wawancara pada instansi X dan Z, didapatkan frekuensi kegagalan yang terjadi pada sistem penyala awal yang dapat mengakibatkan kegagalan pengujian roket, memiliki frekuensi sebesar 1 hingga 2 : 10. Kegagalan tersebut juga dapat mengakibatkan risiko terhadap sistem operasionalnya sendiri dan juga keselamatan pekerja. Penulis dapat menarik kesimpulan bahwa memang dibutuhkan upaya dalam pengkondisian keselamatan sistem penyala awal, agar dapat melindungi penyala awal agar tidak gagal dan dapat menghindari risiko yang diakibatkan dari kegagalan proses tersebut.

Terlebih, penulis juga memberikan pertanyaan terkait kebutuhan pengguna yang diperlukan sebagai upaya dalam membuat rancangan sistem keselamatan penyala awal. Penulis mendapatkan data wawancara sebagaimana pernyataan narasumber sebagai berikut:

“Kebutuhan kami dalam upaya penanggulangan dan keselamatan sistem penyala awal, kami membutuhkan suplai listrik sebesar 1 Ampere dan 20Volt untuk dapat mengoperasikan penyala awal, nilai tersebut tidak boleh kurang, namun boleh diatasnya sesuai dengan nilai resistansi pada kabel yang diinspeksi”.

Terkait kelistrikan, penulis bertanya apakah dibutuhkan upaya dalam pemutusan distribusi listrik secara mendadak, dalam hal ini yang saya tawarkan adalah sistem seperti tombol darurat :

“Kedepannya pengguna membutuhkan sistem emergency pada box panel electrical untuk dapat segera memutus arus pada saat terjadi hal yang tidak diduga. Sistem kelistrikan juga membutuhkan kabel yang proper untuk 1 Ampere dan 20 Volt, dan memiliki resistansi rendah agar *time delay* pada operasi igniter dapat dipangkas. Adapun sistem *grounding* juga dibutuhkan keberadaannya yaitu pada saat pengoperasian igniter, dengan letak posisi yang menjadi satu dengan sistem firing, dan diharapkan memiliki nilai resistansi yang minimal, sehingga listrik statis ataupun gangguan yang tidak diinginkan yang terdapat pada pengkabelan dapat terbuang menuju *ground* terdekat”.

Dalam hasil wawancara yang dilakukan tersebut, pada bagian sistem kelistrikan penyalanya awal, dibutuhkan *grounding* yang dekat dengan penyalanya awal. Hal tersebut terkonfirmasi dengan kebutuhan dari hasil wawancara, sehingga sistem keselamatan dapat dirancang memiliki sistem darurat berupa *grounding* yang terintegrasi dengan *emergency button* dengan sistem yang dapat membaca nilai arus dan tegangan pada sistem pengkabelan agar sesuai dengan kebutuhan minimal suplai listrik.

Pada bagian penyalanya awalnya sendiri, penulis mencoba bertanya terkait kebutuhan yang diperlukan dalam operasi pengujian dan pembakaran. Adapun hasil wawancara yang didapatkan disebutkan dengan :

“Kebutuhan casing yang utama adalah Melting Point nya 600°C ” dengan persebaran pembakaran merata, dan pelelehan casing tidak sisa”.

“Selain itu juga dibutuhkan squib yang memiliki waktu simpan yang lama, dan tidak mudah teroksidasi pada suhu ruangan. Terlebih pada bahan piroteknik, dibutuhkan nilai kalor yang tinggi, dengan flameabilitas yang sama dengan yang dihasilkan oleh nyala squib”.

Dalam hasil wawancara yang dilakukan tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa disyaratkan agar casing dapat meleleh dengan sempurna dengan batas minimum temperatur. Hal tersebut terkonfirmasi dengan kebutuhan dari hasil wawancara dengan studi kasus didalamnya, dengan pertimbangan mengingat temperature yang dihasilkan oleh semburan api pada lubang lubang penyalanya awal sebesar 300°C , jika casing meleleh lebih awal, maka akan berdampak pada persebaran distribusi semburan api didalam tabung roket yang tidak merata, dikarenakan lubang lubang pada penyalanya awal tidak lagi berfungsi dengan baik untuk mendistribusikan api didalam tabung roket.

Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan oleh penulis, maka didapatkan daftar kebutuhan pengguna terkait sistem keselamatan penyala awal, meliputi :

1. Untuk penyala awal, dibutuhkan arus listrik sebesar 1 Ampere dan kebutuhan tegangan sebesar 20 Volt.
2. Dibutuhkan sistem emergency pada box panel electrical untuk dapat segera memutus arus pada saat terjadi hal yang tidak diduga
3. Dibutuhkan kabel yang proper untuk 1 Ampere dan 20 Volt, dan memiliki resistansi rendah agar *time delay* pada operasi igniter dapat dipangkas
4. Sistem *grounding* yang dibutuhkan pada saat pengoperasian igniter menjadi satu dengan sistem *firing*, dan diharapkan memiliki nilai resistansi yang minimal, sehingga listrik statis yang terdapat pada pengkabelan dapat terbuang menuju *ground*
5. Kebutuhan *casing* yang utama adalah *melting Point* nya 600°C, Persebaran pembakaran merata, dan pelelehan *casing* sekejap
6. Dibutuhkan *squib* yang memiliki waktu simpan yang lama, dan tidak mudah teroksidasi pada suhu ruangan
7. Dibutuhkan piroteknik serbuk dan pellet dengan nilai kalor yang tinggi, dengan flameabilitas yang sama dengan yang dihasilkan oleh nyala *squib*.

Hasil wawancara kemudian diolah, untuk mendapatkan data terkait kebutuhan pengguna akan sistem keselamatan penyala awal yang dioperasikan dalam pembakaran propelan pada motor roket X. Data ini digunakan untuk mengetahui kebutuhan pengguna, dengan diolah *translate requirement into function* berupa *Function flow diagram (FFD)*, *Function Breakdown Structure (FBS)*, *List of Requirement (LOR)*, Sehingga dapat dilakukan analisis untuk

menggambarkan kondisi dan situasi yang dihadapkan dari hasil data kebutuhan pengguna dalam konseptual desain.

Sedangkan tahap selanjutnya adalah observasi yang merupakan pengamatan sebagai alat penilaian, yang banyak digunakan untuk mengukur tingkah laku individu ataupun proses terjadinya sesuatu objek dalam kegiatan yang diamati, baik dalam situasi sebenarnya maupun situasi buatan (Sudjana, 2012).

Dalam penelitian ini, observasi dilakukan secara pengamatan dan diskusi untuk mendapatkan data penilaian risiko yang juga disandingkan dengan data sekunder berupa literatur penilaian risiko dan tingkat risiko. Adapun hasil observasi yang diilustrasikan seperti pada tabel 4.2 dibawah, sebagai berikut :

Tabel 4. 2. Poin penilaian risiko dan literature tingkat risiko

NO	IDENTIFIKASI RISIKO		PENILAIAN RISIKO										
	Aktivitas / Produk / Jasa / Fasilitas	Uraian Bahaya	Jenis Konsekuensi	In Charge	Peraturan dan Kewajiban Kepatuhan	Existing Control	Risiko			Tingkatan Risiko	Risiko terhadap Cost	Risiko terhadap Schedule	
O Z	IDENTIFIKASI RISIKO		RISIKO AWAL				Jenis pengendalian risiko	Penetapan pengendalian	RISIKO RESIDU				
	Aktivitas / Produk / Jasa / Fasilitas	Uraian Bahaya	likelihood	severity	Nilai risiko	Tingkat Risiko			likelihood	severity	Nilai Risiko	Tingkat Risiko	

KESERINGAN / LIKELIHOOD (K1)	<i>Almost Certain</i> (Sering Terjadi)	5	T (5)	T (10)	E (15)	E (20)	E (25)
	<i>Likely</i> (Kemungkinan Besar Terjadi)	4	S (4)	T (8)	T (12)	E (16)	E (20)
	<i>Possible</i> (Mungkin Terjadi)	3	R (3)	S (6)	T (9)	E (12)	E (15)
	<i>Unlikely</i> (Kemungkinan Kecil Terjadi)	2	R (2)	R (4)	S (6)	T (8)	E (10)
	<i>Rare</i> (Jarang Terjadi)	1	R (1)	R (2)	S (3)	T (4)	T (5)
		Skor	1	2	3	4	5
		<i>Insignificant</i> (Tidak Signifikan)	<i>Minor</i> (Cidera Ringan)	<i>Moderate</i> (Cidera Berat)	<i>Major</i> (Kematian/ Cidera Tetap)	<i>Catastrophic</i> (Bencana)	
KEPARAHAN / SEVERITY (K2)							

Sumber : Penulis.2021, dan HIRADC (Emilia et al., 2018),
Terlampir pada lampiran 4. Penilaian risiko

Berdasarkan tabel diatas, data yang didapatkan dari penilaian risiko yang dilakukan, dapat menjadi data yang mendukung kebutuhan pengguna dalam menentukan kerangka konseptual desain, sehingga konseptual desain yang dibuat dapat tertelusur tidak hanya berdasarkan ekspektasi kebutuhan pengguna, tetapi juga dilandaskan dengan hasil penilaian risiko yang dibuat.

Adapun data sekunder didapatkan dari studi data literature terkait spesifikasi teknik penyalah awal, protokol berupa *Standard Operational Procedure* (SOP), dan *arsitecture and function document*. Data tersebut berfungsi sebagai data yang harus diketahui oleh penulis ketika menuangkan suatu analisis konseptual desain dan membentuk suatu rancangan desain konsep arsitektur yang juga membutuhkan data teknis terkait fungsi, dan faktor keselamatan.

4.3. Hasil pengolahan data

4.3.1. Kebutuhan Pengguna (*User Requirement*)

Kebutuhan pengguna menjelaskan tentang kebutuhan yang diinginkan oleh pengguna yang dalam penelitian ini adalah Tim *Firing*

– Igniter dari Pusat Teknologi Roket (Pustekroket) X. Kebutuhan yang dimaksud adalah kebutuhan tentang penyala awal dan sistem keselamatan ketika suatu penyala awal digunakan dalam pemberlakuan uji statik, dan juga uji peluncuran roket yang mengimplementasikan penyala awal.

Dalam operasi ini terdapat beberapa pokok poin kebutuhan pengguna yang diinginkan untuk keperluan penyala awal dan sistem keselamatannya yang merujuk pada roket X dituangkan dalam *List Of Requirement* (LOR), Sebagai berikut:

Tabel 4. 3. *List Of Requirement*

Instrumen	Kebutuhan Pengguna	Urgensivitas
Catu daya	Kebutuhan Arus listrik sebesar 1 Ampere dan kebuthuan tegangan sebesar 20 Volt	4
Konektor sakelar	Dibutuhkan sistem <i>emergency</i> pada <i>box</i> panel electrical untuk dapat segera memutus arus pada saat terjadi hal yang tidak diduga	5
Kabel	Dibutuhkan kabel yang proper untuk 1 Ampere dan 20 Volt, dan memiliki resistansi rendah agar <i>time delay</i> pada operasi <i>igniter</i> dapat dipangkas	4
<i>Grounding</i>	Sistem <i>Grounding</i> yang dibutuhkan pada saat pengoperasian <i>igniter</i> menjadi satu dengan sistem <i>firing</i> , dan diharapkan memiliki nilai resistansi yang minimal, sehingga listrik statis yang terdapat pada pengkabelan dapat terbuang menuju <i>ground</i>	3
<i>Casing</i>	Kebutuhan <i>Casing</i> yang utama adalah Melting Point nya 600C, Persebaran pembakaran merata, dan pelelehan <i>casing</i> sekejap	5

<i>Squib</i>	Dibutuhkan <i>squib</i> yang memiliki waktu simpan yang lama, dan tidak mudah teroksidasi pada suhu ruangan	3
Bahan peledak <i>squib</i>	Dibutuhkan nilai kalor yang tinggi, flameabilitas yang rendah	4
Bahan propelan	Dibutuhkan nilai kalor yang tinggi, dengan flameabilitas yang sama dengan yang dihasilkan oleh nyala <i>igniter</i>	4
Bahan peledak <i>igniter</i>	Dibutuhkan nilai kalor yang tinggi, flameabilitas yang rendah	4

Sumber : Wawancara Penulis. 2021

Keterangan (Franceschini, 2002) :

- Nilai 1 : Tidak penting
- Nilai 2 : Kurang penting
- Nilai 3 : Cukup penting
- Nilai 4 : Kepentingan tinggi
- Nilai 5 : Kepentingan sangat tinggi

Berdasarkan tabel diatas, didapatkan data kebutuhan pengguna terkait sistem penyalat awal yang dibutuhkan sesuai dengan wawancara pengguna. Poin poin kebutuhan dibahas untuk tiap komponen, agar mempermudah penulis dalam melakukan klasifikasi kebutuhan dan tingkat kepentingannya.

4.3.2. *Function Flow Diagram*

Function Flow Diagram (FFD) merupakan suatu tahapan dari rangkaian Metoda sistem *engineering* berbasis *life cycle*. FFD bertindak sebagai function analysis yang berfungsi untuk menerjemahkan kebutuhan pengguna menjadi suatu fungsi sehingga dapat dianalisis dan dilakukan urutan suatu proses yang benar. Selain itu, FFD juga berfungsi untuk meminimalisasi risiko agar seluruh tahapan dalam suatu proses dapat digambarkan dengan jelas, Sehingga tahapan demi tahapan tidak ada yang terlewat.

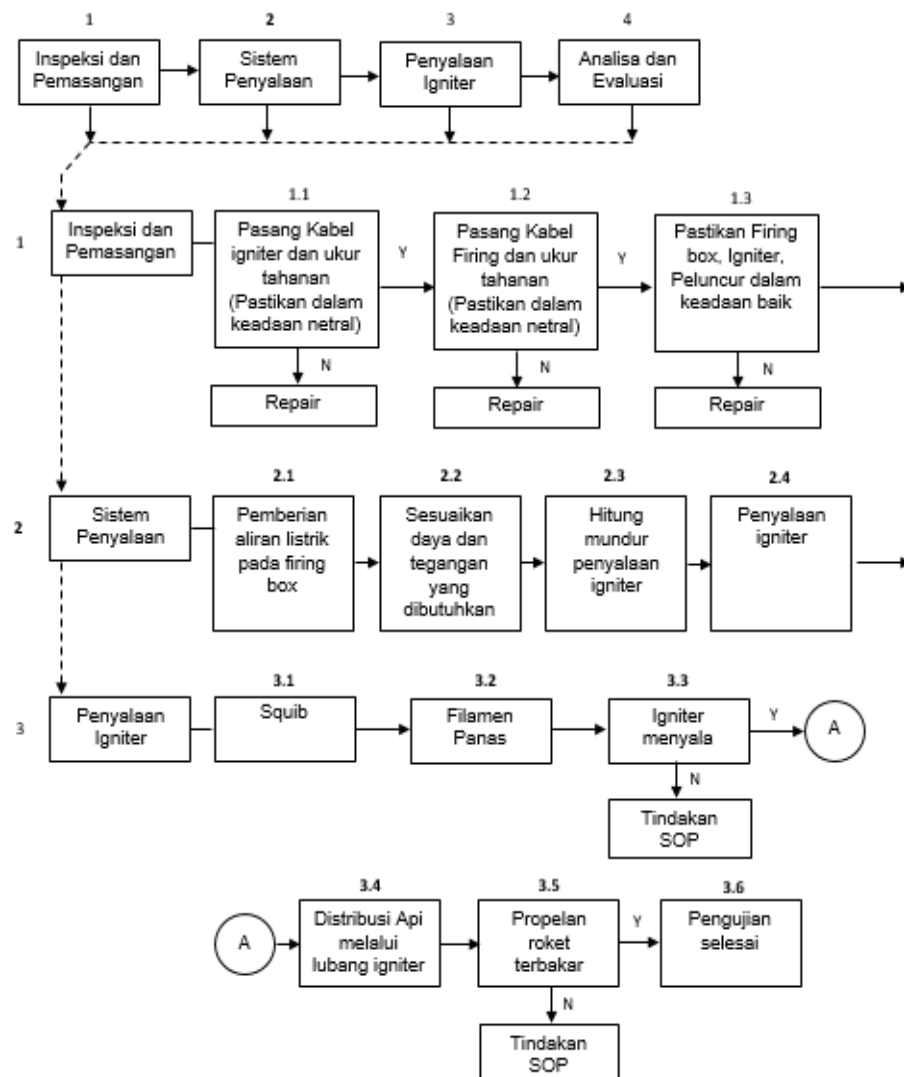
Adapun dalam kasus ini, didapatkan data primer yang dilakukan dengan wawancara dan didapatkan data terkait bagian bagian penyalah awal dan fungsinya, serta data sekunder berupa literature dokumen, sehingga dapat dibuat FFD berdasarkan tabel instrumen dan fungsi sebagai berikut :

Tabel 4. 4. Instrumen dan fungsi bagian penyalah awal

Instrumen	Function
Catu Daya	Berfungsi sebagai pemberi aliran listrik berupa tegangan 20V dan arus 1A pada kabel untuk digunakan sebagai pemicu pembakaran penyalah awal
Konektor sakelar	Berfungsi sebagai penghubung dan pemutus aliran listrik pada saat suplai listrik dari catu daya dinyalakan
Kabel	Kabel digunakan untuk penghantar aliran listrik dari catu daya menuju sistem penyalah awal secara keseluruhan
Grounding	Grounding digunakan sebagai penghantar listrik statis yang tidak diinginkan menuju ke tanah
Casing	Berfungsi sebagai wadah isian penyalah awal, serta sebagai pemberi arah pancaran api ketika penyalah awal dinyalakan
Squib	Squib bertugas sebagai perangkat konversi energi dari sebelumnya energi listrik menjadi energi panas. Squib sendiri juga berfungsi untuk pematik panas yang memercikan api untuk penyalahan Igniter
Bahan bakar igniter	Berupa serbuk dan pelet yang berfungsi sebagai bahan utama isian penyalah awal untuk pemicu penyalahan propelan pada roket

Sumber : Penulis. 2021

Berdasarkan tabel instrumen dan fungsi diatas, beserta referensi literature dokumen berupa proses pengoperasian penyalah awal, didapatkan sistem penyalah awal yang kinerjanya didukung dengan beberapa instrumen dalam tabel. ketika sistem beroperasi, maka dapat terlihat beberapa tahapan yang dilakukan pada tiap instrumen, dan dapat digambarkan melalui *Function Flow Diagram* (FFD) sebagai berikut :



Gambar 4. 2. *Function Flow Diagram* (FFD)

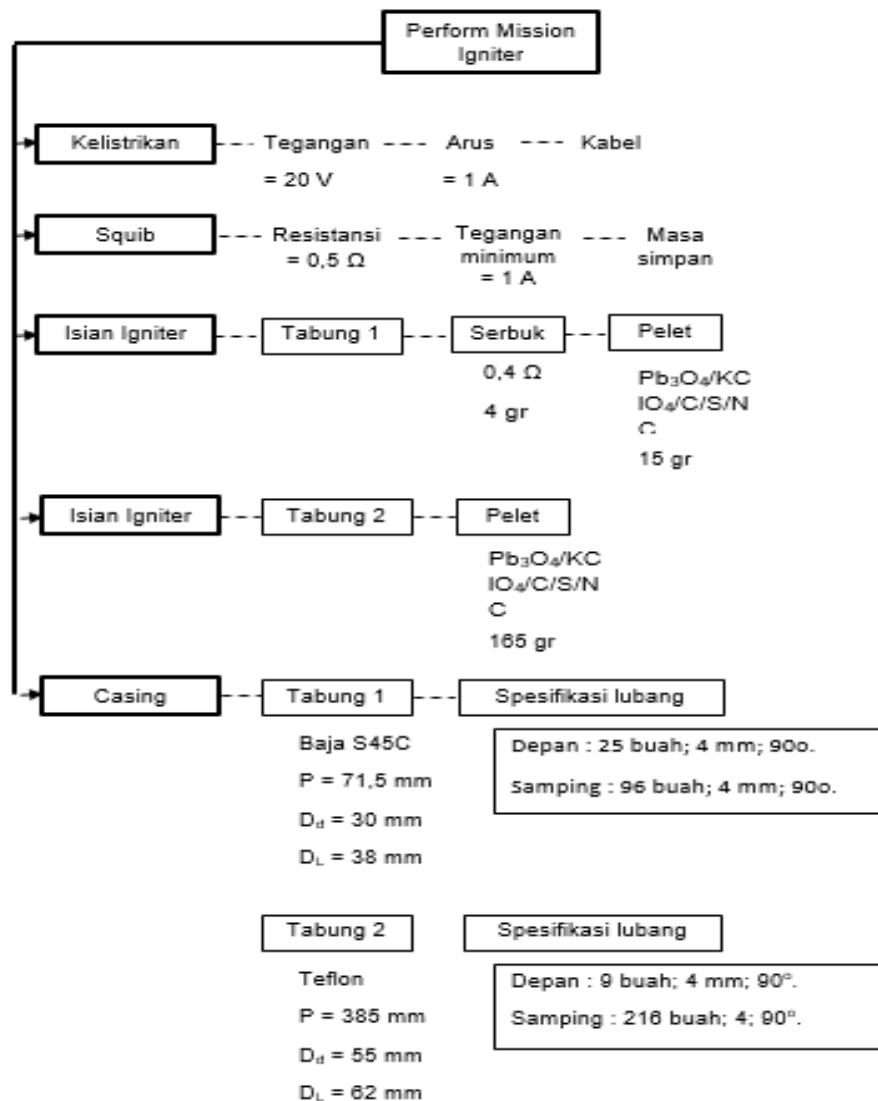
Sumber : Penulis. 2021

4.3.3. **Function Breakdown Structure (FBS)**

Function Breakdown Structure (FBS) merupakan suatu pendekatan function, yang dimana sebuah kegiatan pengembangan diawali dengan melakukan FFD dan FBS. FBS berfungsi untuk mengetahui spesifikasi yang digunakan pada bagian bagian penyusun struktur sistem misi yang akan dijalankan. Sehingga, kegiatan dalam melakukan *breakdown structure* menjadi hal yang wajib diketahui

dalam melakukan suatu pengembangan dan menjalankan suatu proyek.

Bersamaan dengan ini, penelitian berbasis penyalat awal yang dikembangkan merujuk pada data wawancara dan observasi yang dilakukan, serta kesesuaian dengan data sekunder berupa spesifikasi. Adapun *Function Breakdown Structure* yang didapatkan, sebagai berikut :



Gambar 4. 3. *Function Breakdown Structure* (FBS)

Sumber : Penulis, 2021

FBS berfungsi untuk mengetahui spesifikasi yang digunakan pada bagian bagian penyusun struktur sistem misi yang akan dijalankan. Bersamaan dengan ini, jika dilihat dari gambar diagram 4.3 diatas, terdapat 4 bagian struktur yang mendukung sebuah penyala awal untuk menjalankan misinya seperti kelistrikan, *squib*, isian *igniter*, dan *casing*. Adapun analisis terkait ke 4 struktur tersebut dapat dilihat pada sub bab 4.4.2.

4.3.4. Identifikasi dan Penilaian Risiko

Secara definisi, risiko adalah peristiwa yang jika terjadi dapat membahayakan keberhasilan penyelesaian proyek termasuk peluncuran dan pembakaran propeler. Risiko harus diidentifikasi dan dinilai untuk kemungkinan terjadinya dan berdampak pada proyek. Dalam generalisasinya, menurut (INCOSE, 2006) risiko telah didefinisikan sebagai kemungkinan terjadinya suatu peristiwa ditambah dengan konsekuensi negatif dari peristiwa yang terjadi, dan ini juga sesuai dengan standar pengukuran yang digunakan yaitu HIROADC. Dengan kata lain, risiko adalah masalah potensial, sesuatu yang harus dihindari jika memungkinkan, atau kemungkinan dan/atau konsekuensi yang dihadapi.

Adapun data identifikasi dan penilaian risiko yang didapatkan, digambarkan pada tabel dibawah dibagi menjadi dua bagian, dimana pada tabel 4.5 membahas mengenai identifikasi dan penilaian risiko kerja terhadap kesehatan manusia, dan pada tabel 4.6 membahas identifikasi dan penilaian risiko terhadap perangkat penyala awal. Adapun tabel yang dimaksudkan, digambarkan sebagai berikut :

Tabel 4. 5. Identifikasi dan penilaian risiko kerja terhadap kesehatan manusia

O N	IDENTIFIKASI RISIKO			PENILAIAN RISIKO								
	Aktivitas / Produk / Jasa / Fasilitas	Uraian Bahaya	Jenis Konsekuensi	In Charge	Peraturan dan Kewajiban Kepatuhan	Existing Control	Risiko			Tingkatan Risiko	Risiko terhadap Cost	Risiko terhadap Schedule
							likelihood	Severity	Nilai Risiko			
1	Proses pemasangan penyalat awal pada pengujian	Cuaca buruk (gerimis/hujan)	pusing / flu	Tim yang terlibat Uji statik	UU 01/1970	1. memakai payung / jas hujan	1	2	2	Low		+
		cuaca terlalu panas	pusing, cepat lelah, dehidrasi			1. memakai topi 2. memakai kacamata pelindung	1	2	2	Low		+
		angin kencang	masuk partikel debu ke mata			1. memakai kacamata pelindung	1	2	2	Low		+
		Terjatuh karena jalanan licin	cedera fisik, terkilir.			1. memakai sepatu safety	1	2	2	Low	+	+
		Terjepit test bed karena lengah	cedera fisik			Pengawasan pekerjaan	1	2	2	Low	+	+
		Tersandung kabel yang akan / sudah dipasang	cedera fisik			Membuat penataan jalur kabel	1	2	2	Low	+	+
		Posisi tubuh tidak ergonomis	cedera otot, cedera fisik			Pengawasan pekerjaan	1	2	2	Low		+
		ledakan pada saat pengujian dimulai	luka bakar, kematian	Kepmenaker 186 / 1999	1. mengamati dari jauh 2. berlindung di bunker	1	4	4	High	+	+	
		ledakan akibat penyalaan dini	luka bakar, kematian	Kepmenaker 186 / 1999	n/a	1	4	4	High	+	+	
		Tersengat listrik	Cedera fisik, gangguan kesehatan, kematian	operator	Permenaker 12 / 2015		2	2	4	Low	+	+

Sumber : Penulis, 2021

Tabel 4. 6. Identifikasi dan penilaian risiko terhadap perangkat penyalat awal

NO	IDENTIFIKASI RISIKO		PENILAIAN RISIKO									
	Aktivitas / Produk / Jasa / Fasilitas	Uraian Bahaya	Jenis Konsekuensi	In Charge	Peraturan dan Kewajiban Kepatuhan	Existing Control	Risiko			Tingkatan Risiko	Risiko terhadap Cost	Risiko terhadap Schedule
							likelihood	Severity	Nilai Risiko			
1	Catu daya	Arus tidak sesuai dengan kebutuhan (lebih / kurang dari)	Manusia dapat tersengat listrik, dan pada sistem Squib tidak mendapat suplai listrik, dan igniter tidak menyala	Tim firing & Operator		Pengawasan pekerjaan	3	1	3	Low		+
2	Konektor sakelar	Konektor sakelar tidak berfungsi semestinya	Manusia dapat tersengat listrik, dan pada sistem Arus listrik tidak terhubung dengan baik, dan igniter tidak menyala	Tim firing		Adjustment konektor dan pengkabelan sebelum pengujian	2	1	2	Low		+
3	Kabel	Kabel terkelupas	Manusia dapat tersengat listrik, dan pada sistem Luas penampang kabel berkurang, konsleting listrik	Tim Firing & Operator		Pengecekan dan pergantian perangkat	2	2	4	Low		+
		Luas penampang tidak sesuai	Manusia dapat tersengat listrik, dan pada sistem Delay time tinggi, memicu konsleting listrik			Pengukuran resistansi kabel dan penyesuaian kabel	3	1	3	low		+
		Resistansi tinggi	Delay time tinggi			Pengukuran resistansi kabel dan penyesuaian kabel	3	1	3	low		+
		Konsleting	Manusia terkena paparan listrik dan ledakan, Kabel terbakar, kegagalan penyalatan, dan penyalatan dini			Tim menghindari lapangan, penelusuran, dan pergantian perangkat	2	3	6	Moderate		+

4	Grounding	Grounding tidak terhubung	Listrik statis tidak menuju ground, penyalaan dini, ledakan, Manusia terkena paparan ledakan	Tim Firing	Tim menghindari lapangan, Pengecekan sistem grounding	1	4	4	High		+
		Resistansi tinggi	Listrik statis tidak menuju Ground, penyalaan dini, ledakan, Manusia terkena paparan ledakan		Tim menghindari lapangan, Pengecekan sistem grounding	1	4	4	High		+
5	Casing	Casing tidak terbakar	Menyumbat Nozzle, ledakan pada tabung, Manusia terkena paparan ledakan	Tim Igniter & Operator	Tim menghindari lapangan, menunggu hingga pembakaran selesai	2	3	6	Moderate	+	+
		Casing terbakar terlalu cepat	Pembakaran tidak merata, hasil pembakaran tidak bagus		Tim menghindari lapangan, menunggu hingga pembakaran selesai	3	1	3	Low	+	+
6	Squib	Tidak menyala	Tidak terjadi penyalaan Igniter, status pekerjaan awas, manusia menjadi terancam dengan penyalaan tiba tiba	Tim Igniter & Operator	Menunggu 10 menit, putuskan catu daya, konfirmasi kasus, tindakan pengamanan sesuai SOP	3	1	3	Low	+	+
7	Isian Igniter	Piroteknik tidak menyala	Tidak terjadi penyalaan Igniter, status pekerjaan awas, manusia menjadi terancam dengan penyalaan tiba tiba		Menunggu 10 menit, putuskan catu daya, konfirmasi kasus, tindakan pengamanan sesuai SOP	3	1	3	Low	+	+
		Piroteknik menyala namun propelan tidak menyala	Tidak terjadi pembakaran propelan, status pekerjaan awas, manusia menjadi terancam dengan penyalaan tiba tiba	Menunggu 10 menit, putuskan catu daya, konfirmasi kasus, tindakan pengamanan sesuai SOP	3	1	3	Low	+	+	

Sumber : Penulis,2021

Penilaian risiko ditandai dengan distribusi hasil berdasarkan kemungkinan terjadinya dan tingkat keparahan konsekuensi. Risiko

melibatkan probabilitas dan konsekuensi dari hasil yang dinilai berpotensi. Adapun tabel yang digunakan dalam melakukan penilaian, meliputi :

Tabel 4. 7. Tingkat risiko

KESERINGAN / LIKELIHOOD (K1)	<i>Almost Certain</i> (Sering Terjadi)	5	T (5)	T (10)	E (15)	E (20)	E (25)
	<i>Likely</i> (Kemungkinan Besar Terjadi)	4	S (4)	T (8)	T (12)	E (16)	E (20)
	<i>Possible</i> (Mungkin Terjadi)	3	R (3)	S (6)	T (9)	E (12)	E (15)
	<i>Unlikely</i> (Kemungkinan Kecil Terjadi)	2	R (2)	R (4)	S (6)	T (8)	E (10)
	<i>Rare</i> (Jarang Terjadi)	1	R (1)	R (2)	S (3)	T (4)	T (5)
	Skor		1	2	3	4	5
			<i>Insignificant</i> (Tidak Signifikan)	<i>Minor</i> (Cidera Ringan)	<i>Moderate</i> (Cidera Berat)	<i>Major</i> (Kematian / Cidera Tetap)	<i>Catastrophic</i> (Bencana)
KEPARAHAN / SEVERITY (K2)							

Sumber : HIRADC (Emilia et al., 2018)

4.4. Hasil Analisis Data

4.4.1. Analisis *Function Flow Diagram* (FFD)

Dari Gambar FFD pada sub bab 4.3.2 gambar 4.2, diagram tersebut menggambarkan suatu sistem penyala awal. Terdapat empat tahapan yang secara umum dilakukan dalam setiap pengujian yang melibatkan penyala awal (*igniter*) sebagai pembakarannya. Adapun empat tahapan tersebut adalah, Inspeksi dan pemasangan, proses sistem penyalaan, proses penyala awal terbakar, serta analisa dan evaluasi. Kode (Y) memiliki arti YES, dan (N) memiliki arti NO, merupakan penggambaran yang memiliki arti dua kondisi. Adapun penjelasannya sebagai berikut :

1. Inspeksi dan pemasangan

Pada fase inspeksi dan pemasangan terdapat beberapa tahapan yang dilakukan oleh tim ahli lapangan. Dalam pelaksanaan poin 1.1 dan 1.2, terdapat tim firing yang bertugas untuk melakukan inspeksi dengan memastikan pengkabelan dalam keadaan baik dan mengukur

tahanan kabel igniter dan firing sebelum dan sesudah kabel dialiri oleh arus listrik. Jika ditemukan kondisi kabel yang memiliki tegangan sebelum listrik dialirkan (N) maka dilakukan repair. Namun jika tidak ditemukan kejanggalan dari kelistrikan, maka akan berlanjut ke tahapan selanjutnya.

Adapun tahapan 1.3 yang melakukan tindakan untuk memastikan kondisi firing, penyalu awal, peluncur dan roket agar tetap aman, ditugaskan kepada Tim SAE (*Safety assurance Engineer*) sebagai upaya awal untuk meminimalisasi keadaan yang tidak diinginkan dengan melakukan pengecekan yang memastikan kondisi tiap instrumen dalam keadaan baik. Kegiatan inspeksi ini juga sesuai dengan buku *ignition system for solid rocket motor* (Alka Suri, 2020) Sebagai upaya awal dalam menjaga kebutuhan minimum sistem *firing* penyalu awal dapat terjaga.

2. Sistem penyalu

Berdasarkan perilaku kondisi yang diamati oleh penulis, terdapat beberapa tahapan yang dilakukan pada fase penyalu. Fase fase tersebut diantaranya adalah pemberian aliran listrik dari ruang kontrol menuju *firing box*, dan keadaan arus dan tegangannya disesuaikan dalam *firing box* tersebut. Ketika semuanya sudah siap dan sesuai, maka dilakukan perhitungan mundur oleh operator lapangan dengan jumlah 20 nomor pada peluncuran roket, serta 10 nomor pada proses pengujian statik. Dalam hal ini, sakelar ditekan dan aliran listrik bergerak menuju penyalu awal dengan waktu delay sebesar 1 hingga 3 detik untuk penyaluannya. Hal ini sesuai dengan protokol yang berlaku pada saat proses penyalu penyalu awal (LAPAN).

3. Penyalu igniter

Dimulai dari berfungsinya sebuah *squib* pada poin 3.1. Penyalu *igniter* dimulai setelah *squib* menerima tegangan listrik dan

mencakup pembangkitan panas pada filament 3.2. Ketika filament berhasil menyala, pemindahan panas dari filament yang membakar ke permukaan butiran serbuk dan menyebarkan api yang membakar isian penyala awal berbentuk pellet.

Pada poin 3.3 digambarkan, jika filament berkontraksi tetapi penyala awal tidak menyala (N) maka harus dilakukan tindakan yang merujuk pada Standar Operasional Prosedur (SOP) peluncuran roket bagian tindakan penanganan. Namun apabila filament berkontraksi kemudian penyala awal menyala (Y), api pada penyala awal berpropagasi tersebar melalui lubang lubang *casing igniter* yang kemudian akan membakar propelan roket pada bagian chamber. Jika terdapat kendala proses yang mengakibatkan propelan tidak menyala (N), maka dilakukan tindakan sesuai dengan SOP peluncuran roket bagian tindakan penanganan, dengan asumsi memiliki potensi ledakan. Namun jika bahan propelan menyala dan terbakar (Y), maka pengujian telah berhasil dilakukan.

4.4.2. Analisis *Function Breakdown Structure*

FBS berfungsi untuk mengetahui spesifikasi yang digunakan pada bagian bagian penyusun struktur sistem misi yang akan dijalankan. Bersamaan dengan ini, jika dilihat dari sub bab 4.3.3. pada gambar diagram 4.3 tersebut, didapatkan hasil yaitu, terdapat 4 bagian struktur yang mendukung sebuah penyala awal untuk menjalankan misinya yaitu kelistrikan, *squib*, isian penyala awal, dan *casing*. Hasil ini pun sesuai dengan teori yang dikembangkan oleh (Supriyatno, 2009) yaitu penyala awal ialah suatu elemen di dalam roket yang juga tersusun oleh : *squib*, isian piroteknik dan tabung *casing*. Adapun penjelasannya terkait ke 4 struktur tersebut yaitu :

1. Kelistrikan

Dalam sebuah peluncuran yang mengoperasikan penyala awal, sebuah penyala awal membutuhkan suplai arus listrik yang bersumber dari catu daya. Dalam penyalanya, catu daya tersebut harus mengalirkan arus listrik sebesar 20 Volt, tegangan 1 Ampere. Berdasarkan kalkulasi yang telah dilakukan, maka daya yang dihasilkan adalah 20 Watt. Hal ini sesuai dengan hasil wawancara ahli yang dilakukan (Wawancara ahli. 2021). Untuk mendistribusikan arus listrik tersebut, dibutuhkan kabel sebagai penghantar arus listrik dari catu daya, menuju firing dan penyala awal. Berdasarkan kalkulasi yang dilakukan, didapatkan luas penampang kabel yang sesuai dengan kapasitas arus yang tersedia sebesar 0,75 mm. Dengan sistem kelistrikan yang baik, dan aliran distribusi arus listrik yang optimal, dapat meminimalisasi hambatan yang terjadi pada sistem kelistrikan, dan diharapkan target sebuah penyala awal memiliki waktu delay dibawah 2 detik akan tercapai.

2. Squib

Secara definisi, *squib* merupakan bagian komponen penyala awal dari suatu motor roket dan pemantik paling pertama yang diaplikasikan untuk membakar komposisi primer (inisiator atau bahan isian) *squib fusehead*, yang kemudian membakar bahan isian utama penyala awal. Dalam sistem operasi, *squib* yang digunakan pada roket X memiliki kapasitas tegangan minimum sebesar 1 A dan memiliki besar resistansi sebesar 0,5 Ω . Semakin kecil nilai resistansi pada suatu penghantar, maka semakin baik. Adapun gambar 4.4 dibawah merupakan squib yang digunakan pada roket X, sebagai berikut :



Gambar 4. 4. Elektrik *Squib*

Sumber : Dokumen Lapan

Squib berukuran kecil, tabung dari *electric squib* mempunyai diameter 6 mm dan panjang 20 mm. *Bridge wire* yang digunakan adalah *wolfram (tungsten)* atau *nichrome wire* diameter 0,10 mm dan panjang 5 - 7 mm. Untuk jenis dan diameter bridge wire ini perlu diperhatikan, perlu dipilih dari bahan yang ketika dilalui arus listrik tidak langsung putus sebelum pijarannya membakar bahan kimia penyalanya. Bahan kimia penyalanya atau disebut *primary explosive* adalah bahan piroteknik sensitif terhadap panas, yaitu campuran oksidator, fuel dan bahan aditif lain, dengan berat 0,04 gr. Dengan spesifikasi squib tersebut diharapkan squib dapat digunakan dalam igniter roket, baik igniter yang berukuran besar maupun kecil.

3. Isian penyalanya awal (Igniter)



Gambar 4. 5. Isian penyalanya awal

Sumber : Penulis, 2021 dan LAPAN

Dalam sebuah peluncuran roket yang mengoperasikan penyalanya awal, sebuah penyalanya awal membutuhkan isian yang berfungsi sebagai energi kalor yang diperlukan sebagai energi aktivasi komposisi primer pada roket. Skemanya adalah, bahan isian penyalanya awal berupa serbuk, kemudian bahan piroteknik serbuk tersebut dapat membakar bahan isian penyalanya awal lainnya dengan bentuk *pellet*. Jika bahan isian penyalanya awal bentuk *pellet* sudah terbakar, hal tersebut dapat memicu pembakaran pada bahan propelan.

Skema penyalaan ini, didukung oleh penyalanya awal yang memiliki tabung 1 dan tabung 2 yang berfungsi sebagai wadah isian penyalanya. Isian piroteknik pada tabung 1 berkomposisi serbuk ALNO *powder* dengan resistansi $0,4 \Omega$ dengan bobot 4gr dan pelet tablet berkomposisi $Pb_3O_4/KClO_4/C/S/NC$ dengan bobot 15gr. Sedangkan isian piroteknik pada tabung 2 yang langsung mengarah pada isian propelan untuk bahan bakar roket, memiliki jenis isian berbentuk *pellet* tablet yang berkomposisi $Pb_3O_4/KClO_4/C/S/NC$ dengan bobot sebesar 165gr.

4. *Casing*



Gambar 4. 6. *Casing* penyalanya awal pada roket X

Sumber : Penulis, 2021 dan LAPAN

Casing merupakan suatu wadah yang digunakan untuk menampung bahan isian piroteknik padat (Wawancara penulis. 2021). Untuk mendukung penyalaan bahan bakar propelan pada roket X, penyala awal didukung dengan tersedianya tabung 1 yang memiliki spesifikasi bahan yang terbuat dari baja S45C, dengan panjang P sebesar 71,5mm, dengan diameter dalam (D_d) dan luar (D_L) sebesar 30 dan 38mm. Tabung 1 juga memiliki lubang sebagai pemberi arah persebaran api, dengan lubang depan : 25 buah, berdiameter 4 mm, dan mengarah tepat 90° , dan pada bagian samping sebanyak 96 buah, berdiameter 4mm dan mengarah tepat 90° . Tabung 1 berfungsi sebagai penyala dari *squib* yang menghantarkan api menuju tabung 2 yang lebih besar kapasitasnya.

Sedangkan tabung 2 sendiri memiliki spesifikasi bahan yang terbuat dari bahan teflon, dengan panjang P sebesar 385mm, dengan diameter dalam (D_d) dan luar (D_L) sebesar 55 dan 62mm. Tabung 2 juga memiliki lubang yang disebut sebagai lubang igniter, dengan kuantitas pada bagian depan sebanyak 9 buah, berdiameter 4 mm, dan mengarah tepat 90° . Adapun lubang di bagian samping sebanyak 216 buah, berdiameter 4mm dan memiliki arah pembakaran 90° .

4.4.3. Analisis Hasil Identifikasi dan Penilaian Risiko

Dalam mengidentifikasi dan melakukan analisis risiko bahaya, dilakukan dengan menggunakan *Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control* (HIRADC). *Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control* (HIRADC) merupakan salah satu persyaratan yang harus ada dalam menerapkan SMK3 berdasarkan ISO 45001:2018. HIRADC di bagi menjadi 3 tahap yaitu: Identifikasi bahaya, *Risk Assesment*, dan Pengendalian. (Saputro & Lombardo, 2021)

Berdasarkan tabel 4.5 dan tabel 4.6 pada sub bab *Risk assessment* 4.3.4 sebelumnya, digambarkan analisis yang dapat

menggambarkan situasi yang didapatkan dalam bentuk penilaian risiko kerja terhadap kesehatan manusia, dan penilaian risiko terhadap perangkat penyala awal, sesuai dengan penilaian yang dibutuhkan oleh instansi terkait. Adapun analisisnya yaitu:

1. Identifikasi dan penilaian risiko terhadap kesehatan manusia

Pada penggambaran yang dilihat berdasarkan tabel 4.5 sebelumnya, terdapat identifikasi risiko yang dimulai dengan aktifitas proses pemasangan penyala awal pada pengujian. Dimana, didapatkan uraian bahaya seperti pengaruh cuaca yang membahas secara umum, hingga bahaya tersengat listrik.

Jika dilihat dari tabel tingkat risiko HIRADC dalam (Emilia et al., 2018), uraian bahaya yang dipengaruhi oleh cuaca, didapatkan tingkat risiko “*Low*” yang dilihat berdasarkan konsekuensi yang diberikan berdampak pada manusia yang bertugas sebagai operator lapangan. Hal ini juga didukung oleh peluang kemungkinan. Kegiatan ini mengindikasikan sangat jarang terjadi (1x dalam lebih dari 1 tahun), serta tingkat keparahan (*severity*) yang didapatkan di angka 2 yang mengartikan dengan tingkatan medium. Sehingga dampak yang diberikan oleh cuaca berurutan berada pada nilai 2 (*Low*).

Hal lain yang dipertimbangkan dalam pemasangan penyala awal pada saat melakukan pengujian, didapatkan uraian bahaya secara teknis yang meliputi, ledakan pada saat pengujian, ledakan akibat penyalaan dini, dan juga tersengat listrik. Berdasarkan ketiga uraian bahaya tersebut, konsekuensi jika terjadinya bahaya tersebut adalah, dapat berdampak pada operator dan juga perangkat lunak yang berada didalam aera pengujian. Dalam hal ini, jenis konsekuensi yang didapatkan dapat mengakibatkan, luka bakar, cedera fisik, gangguan kesehatan dan juga kematian.

Berdasarkan ketiga uraian bahaya tersebut, walaupun Kegagalan yang ditemukan sangat jarang terjadi, namun potensi Kegagalan tersebut dapat menyebabkan kematian dengan tingkat

keparahan yang mencapai “*major*”, sehingga didapatkan level risiko “*High*”. Hal ini juga sesuai jika Ditinjau dari tabel tingkat risiko HIRADC dalam penelitian (Emilia et al., 2018), yang menyatakan jika risiko berupa konsekuensi yang didapatkan dapat mengakibatkan, luka bakar, cedera fisik, gangguan kesehatan dan juga kematian, maka tingkat risikonya adalah “*High*” walaupun dengan kasus jarang terjadi.

2. Identifikasi dan penilaian risiko terhadap perangkat penyala awal

Pada penggambaran yang dilihat berdasarkan tabel 4.6 sebelumnya, terdapat identifikasi risiko pada perangkat sistem penyala awal yang digunakan. Aktifitas penilaian yang dilakukan pada sistem mencakup, catu daya, konektor sakelar, perkabelan, *grounding*, *casing*, *Squib*, dan isian penyala awal (*Igniter*).

Potensi risiko pada penilaian yang dilakukan, didapatkan hasil berupa “*Low*” didapatkan pada perangkat catu daya yang memiliki potensi arus listrik yang tidak sesuai dengan kebutuhan (kurang dari), konektor sakelar yang memiliki potensi tidak berfungsi dengan semestinya, dan perkabelan yang memiliki potensi risiko berupa kabel terkelupas, luas penampang tidak sesuai, dan resistansi tinggi.

Potensi risiko pada penilaian yang dilakukan, juga didapatkan hasil berupa “*low*” atau dengan kata lain memiliki hasil penilaian risiko yang minim. Adapun perangkat sistem yang mendapatkan nilai “*low*” pada bagian penyala awal, berupa *casing* yang memiliki potensi pembakaran terlalu cepat, *squib* yang tidak menyala dan dapat menyebabkan Kegagalan penyalaan, dan isian penyala awal yang memiliki risiko bahwa piroteknik tidak menyala dan tidak dapat merembakar isian propelan. Hasil penilaian “*low*” tersebut didapatkan karena nilai kemungkinan/keseringan (*likelihood*) terjadinya potensi risiko yang dijabarkan memiliki nilai yang rendah atau <3 dengan indikasi (*possible*) yang memiliki arti kemungkinan terjadi, dan

didapatkan tingkat keparahan (*severity*) memiliki nilai rendah atau <4 atau dengan indikasi minor dan memberikan dampak cedera ringan.

Sementara itu, pada penilaian risiko pada perangkat sistem penyala awal juga didapatkan nilai “*moderate*” pada dua bagian. Moderate merupakan tingkat penilaian risiko menengah / sedang yang dapat terjadi sewaktu waktu dan dapat menyebabkan cedera berat, walaupun tingkat keseringan (*likelihood*) yang didapatkan cukup rendah atau <3. Hal ini terjadi pada bagian perkabelan yang memiliki potensi konsleting dan dapat menyebabkan Kabel terbakar, kegagalan penyalaan, penyalaan dini, hingga ledakan atau dengan nilai potensi >3 yang dapat menimbulkan akibat berupa cedera berat pada manusia. Selain itu, didapatkan nilai “*moderate*” pada bagian lain seperti *casing* yang memiliki potensi tidak terbakar habis. Akibat dari *casing* yang tidak dapat terbakar habis dapat mengakibatkan tersumbatnya keluaran api pada *nozzle*, dan dapat memicu ledakan pada saat proses penyalaan roket, atau dengan hasil penilaian berupa *likelihood* 2, dan nilai tingkat keparahan yang dapat ditimbulkan 3 (menengah).

Penilaian risiko pada perangkat sistem penyala awal juga didapatkan nilai “*High*”. Nilai potensi risiko “*High*” terjadi pada bagian sistem ground yang dirasa cukup vital keberadaannya. Sistem *ground* memiliki dua potensi yaitu jika *ground* tidak terhubung dengan baik, dan ketika resistansi tinggi pada *ground*. Kegagalan pada sistem ground dapat mengakibatkan listrik statis yang tidak menuju *ground*, penyalaan dini pada penyala awal, dan juga dapat memicu terjadinya ledakan langsung pada proses pemasangan di ruang *testbed*. Keadaan ini digambarkan tidak sering terjadi, atau memiliki nilai *likelihood* sebesar 1 atau sangat jarang terjadi. Namun, akibat yang ditimbulkan dari kegagalan ini memiliki *severity* atau tingkat keparahan sebesar 4 dengan indikasi “*major*” yang dapat menimbulkan cedera tetap hingga kematian akibat ledakan. Sejauh ini, kontrol yang

dilakukan untuk kasus ini adalah dengan mengikuti standar operasional prosedur yang berlaku yaitu tim menghindari lapangan, dan melakukan pengecekan sistem grounding.

Hal ini juga sesuai jika ditinjau dari tabel tingkat risiko HIRADC dalam penelitian (Emilia et al., 2018), yang menyatakan jika risiko berupa konsekuensi yang didapatkan dapat mengakibatkan, luka bakar, cedera fisik, gangguan kesehatan dan juga kematian, maka tingkat risikonya adalah "*Moderate and High*" walaupun dengan kasus jarang terjadi. Metode yang digunakan, juga sesuai dengan metode yang dikerjakan oleh instansi.

4.5. Interpretasi Data

Interpretasi data adalah proses memberi arti dan signifikansi terhadap analisis yang dilakukan, menjelaskan pola-pola deskriptif, mencari hubungan dan keterkaitan antar deskripsi-deskripsi data yang ada (Barnsley & Ellis, 1992). Dalam penelitian yang dilakukan, interpretasi data merupakan sebuah bentuk kegiatan untuk melakukan penggabungan hasil dari analisis dengan berbagai macam kriteria untuk mendapatkan makna yang dituangkan secara deskriptif.

Dalam penelitian ini, didapatkan data terkait hasil pengolahan data berupa data kebutuhan pengguna (*list of requirement*) yang dihubungkan dengan analisis function flow diagram, *function breakdown structure*, *risk assessment* (penilaian risiko) pada sistem penyala awal untuk pembakaran pada motor roket X, diinterpretasikan berupa data *relation matrix* dan *benchmark performance*, serta hasil pengkategorian penilaian risiko yang digambarkan pada sub bab 4.5.1.

4.5.1. *Relation Matrix* dan Penilaian Risiko

Berdasarkan pada tabel 4.3 *List of Requirement* (LOR) pada sub bab 4.3.1, selanjutnya dilakukan tahap *relation matrix*. Dimana *relation*

matrix merupakan kesesuaian antara point-point LOR dengan pengolahan karakteristik desain yang dibuat. Terdapat 3 proses dalam tahap ini yaitu memberikan nilai *benchmark*, skala prioritas karakteristik desain, dan penilaian risiko penyala awal untuk menentukan desain yang akan dibuat.

Dalam membuat *relation matrix*, terdapat level kesesuaian yang mengacu pada metode QFD dikutip dari penelitian (Sumariyanto, Supriyadi, & Apriyanto, 2020), dibagi menjadi 3 dengan keterangan keterkaitan lemah (1), keterkaitan sedang (3), dan keterkaitan tinggi (9). *Relation matrix* dibuat untuk mengetahui hubungan tingkat kesesuaian antara kebutuhan pengguna dengan karakteristik desain yang dibuat. Kriteria ini berdasarkan pada LOR yang disusun dan analisis menggunakan *Quality Function Deployment* (QFD). Kemudian hubungan antara kebutuhan pengguna (*List of requirement*) dan *design characteristics* tersusun dalam *relation matrix*. Berikut data hasil hubungan terlihat pada tabel 4.8, di bawah ini.

Tabel 4. 8. *Relation matrix*

<i>List Of Requirement</i>	Tingkat Kepentingan	Desain Karakteristik						
		Catu daya	Kabel	Ground	Casing	Squib	Pirroteknik	<i>Emergency Button</i>
2 Volt dan 1 Ampere	4	9	9	9	1	9	1	9
Pemutus aliran listrik	5	9	9	9	1	3	3	9
Resistansi rendah	3	3	9	9	1	3	3	9
Melting poin dan persebaran pembakaran merata	5	1	1	1	9	3	9	3

Waktu penyimpanan lama	4	3	1	1	3	9	9	3
Nilai kalor tinggi	4	1	1	1	1	9	9	3
Nilai sensitifitas tinggi	4	1	9	9	1	9	9	3
Skor akhir (Tingkat kepentingan x desain karakteristik)		115	157	157	77	183	181	159
Benchmark (%)		44.06	60.15	60.2	29.5	70.11	69.35	60.9
Skala prioritas		6	4	5	7	1	2	3

Sumber : Penulis. 2021

$$Benchmark\ Performance = \sum_{Criteria\ 1}^{Criteria\ 8} (Importance\ Rating\ x\ Relation\ Value)$$

Keterangan (Franceschini, 2002):

- Nilai 1 : Hubungan Lemah
- Nilai 3 : Hubungan Sedang
- Nilai 9 : Hubungan Tinggi

Berdasarkan tabel diatas, didapatkan kesesuaian antara point-point *requirement* dengan karakteristik desain yang dibuat. Terdapat 3 proses dalam tahap ini yaitu memberikan nilai *benchmark*, skala prioritas karakteristik desain, dan penilaian risiko penyala awal untuk menentukan desain yang akan dibuat. Adapun hasil penilaian risiko yang didapatkan sebagai berikut :

Tabel 4. 9. Hasil rangkuman penilaian risiko

Skala Prioritas	Aktivitas / Produk / Jasa / Fasilitas	Rating		Level
		Skor	Rata Rata	
1	Ground	4,4	4	High
2	Kabel	4,3,3,6	4	Moderate
3	Casing	6,3	4	Moderate
4	Squib	3	3	Low
5	Pireteknik	3,3	3	Low
6	Catu Daya	3	3	Low
7	Konektor Sakelar	2	2	Low

Sumber : Penulis. 2021

Berdasarkan tabel 4.8 *Relation Matrix* dan *benchmark*, adapun nilai yang memiliki skala prioritas nomor 1 dan 2 adalah squib dengan 70,11%, dan piroteknik dengan 69,35%. Ada pula *emergency button*, *ground* dan kabel yang memiliki nilai skala prioritas 3, 4, dan 5, yang masing masing memiliki nilai 60.9, 60.15, dan 60.2%. Dalam penelitian ini, untuk menentukan desain konsep yang akan dibuat, juga mempertimbangkan hasil dari translate requirement into function dan penilaian risiko. Dimana dalam analisis yang dibuat, sistem *emergency button*, *ground*, dan perkabelan merupakan bagian yang memiliki nilai risiko moderate dan high. Sehingga dalam pembahasan desain konsep, juga difokuskan dalam konsep arsitektur sistem keselamatan penyalah awal pada perangkat tersebut dan juga sebagai langkah pengendalian.

4.6. Pembahasan

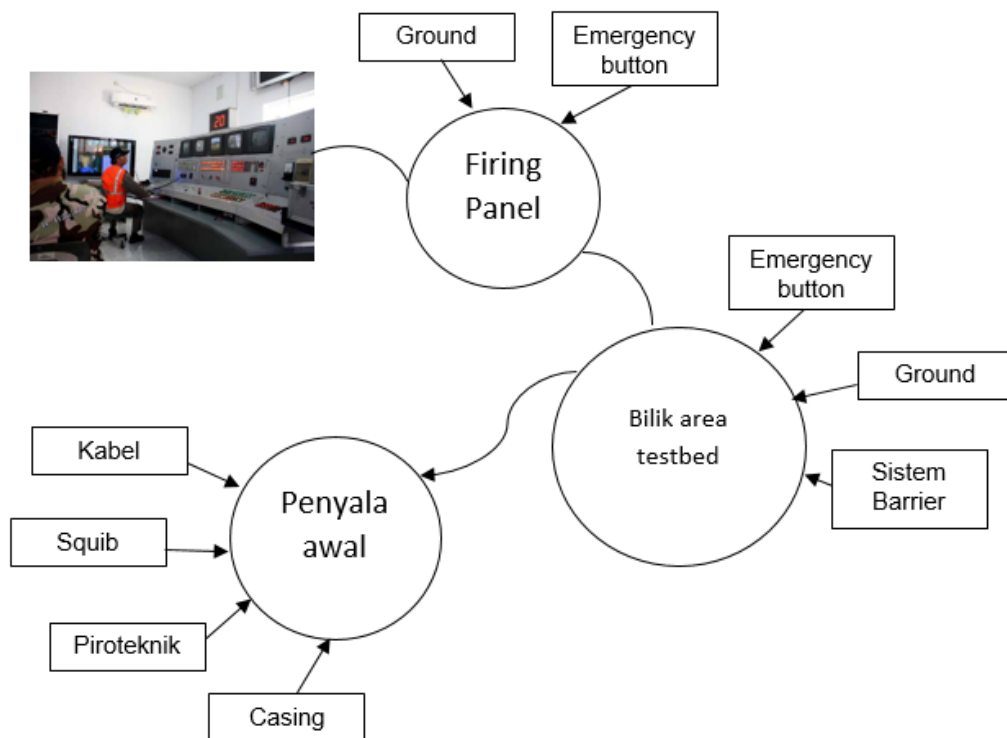
4.6.1. Desain Konsep

Desain konsep yang dibuat dalam penelitian ini, adalah sebuah penyalah awal yang memiliki sistem fungsi keselamatan untuk pengembangan produk penyalah awal yang sebelumnya telah digunakan. Sistem fungsi keselamatan disini, didasari oleh poin poin kebutuhan pengguna terkait penyalah awal yang sesuai dengan kebutuhan dan juga mempertimbangkan hasil penilaian risiko pada keselamatan operator dilapangan dan keselamatan perangkat sistem yang digunakan.

Desain konsep penyalah awal dengan sistem fungsi keselamatan ini, bertujuan untuk menyesuaikan sistem penyalah awal dengan kebutuhan pengguna, serta meminimalisasi risiko keselamatan ketika proses operasi penyalah awal dilakukan yaitu memicu pembakaran propelan pada roket X. Desain konseptual yang menjadi output dalam penelitian ini, terdiri dari dua bagian yaitu penentuan konsep yang didukung oleh *relation matrix* dan *benchmark performance*, serta

desain arsitektur yang didukung dengan *behavior* dan *use case*. Penentuan ini berdasarkan hasil penentuan analisis kebutuhan pengguna.

Sesuai dengan desain penelitian *system engineering handbook* (INCOSE, 2006) terdapat tahapan *explore concept design* dan *Purpose viable solution*, dan penulis mencoba menjabarkan kegiatan penelitian yaitu LOR (*List of Requirement*), FFD (*Functional Flow Diagram*), FBS (*Function Breakdown Structure*), dan *Risk Assesment* seperti yang sudah dibahas sebelumnya, terdapat konsep sistem penyala awal yang ditentukan, yang dapat dilihat pada gambar 4.7, sebagai berikut :



Gambar 4. 7. Desain konsep sistem keselamatan penyala awal

Sumber : Penulis,2021

Konsep yang digambarkan dalam penelitian ini, didesain sesuai dengan kebutuhan pengguna berdasarkan analisis yang dilakukan

penulis. Terdapat cakupan besar yang menjadi fokus dalam menentukan konsep sistem keselamatan penyala awal pada roket X. Cakupan tersebut adalah *Firing panel*, bilik area *testbed*, dan penyala awal. Pembahasan ini juga terintegrasi dengan bahasan sebelumnya yang mencakup LOR, FFD, FBS, dan *Risk Assesment* pada metode. Sehingga konsep yang diperlukan dalam penentuan sistem keselamatan pada penyala awal, dapat dituangkan menjadi karakteristik desain sebagai berikut :

Tabel 4. 10. Karakteristik desain

No.	Sektor	Kebutuhan Instrumen	Keterangan
1	<i>Firing Panel</i>	<i>Ground</i>	Sistem <i>Grounding</i> yang dibutuhkan pada saat pengoperasian igniter menjadi satu dengan sistem <i>firing</i> , dan diharapkan memiliki nilai resistansi yang minimal, sehingga listrik statis yang terdapat pada pengkabelan dapat terbangun menuju ground
		<i>Emergency Button</i>	Sistem <i>emergency</i> pada <i>box panel</i> electrical untuk dapat segera memutus arus pada saat terjadi hal yang tidak diduga
2	Bilik area <i>testbed</i>	<i>Ground</i>	Diharapkan memiliki nilai resistansi yang minimal, sehingga listrik statis yang terdapat pada pengkabelan dapat terbangun menuju ground
		<i>Emergency Button</i>	<i>Sistem emergency</i> pada bilik area menjadi pertimbangan yang serius. Hal ini didasari bahwa area bilik pemasangan menjadi area yang cukup vital pada saat pemasangan penyala awal yang bisa berdampak langsung dengan operator lapangan
		<i>Barrier</i>	Penerapan sistem penghalang suara yang diakibatkan oleh pengujian. Hal ini berdampak langsung dengan pada operator lapangan dan juga lingkungan

3	Penyala awal	Kabel	Kabel yang proper untuk 1 Ampere dan 20 Volt, dan memiliki resistansi rendah agar <i>time delay</i> pada operasi igniter dapat dipangkas dapat mengacu pada pembahasan poin C
		Squib	Squib yang memiliki waktu simpan yang lama, dan tidak mudah teroksidasi pada suhu ruangan
		Piroteknik	Dibutuhkan nilai kalor yang tinggi dan juga flameabilitas yang rendah sesuai dengan pelepasan nilai kalor pada <i>squib</i>
		Casing	<i>Casing</i> yang utama adalah <i>Melting Point</i> nya 600C, Persebaran pembakaran merata, dan pelelehan <i>casing</i> sekejap dapat mengacu pada pembahasan poin E

Sumber : Penulis. 2021

Adapun penjelasan terkait karakteristik desain, antara lain :

a. Catu Daya



Gambar 4. 8. Catu daya

Sumber. Penulis, 2021

Power Supply merupakan sebuah perangkat yang berguna sebagai sumber listrik untuk piranti lain. Pada intinya semua power supply atau catu daya mempunyai fungsi yang sama yaitu sebagai penyearah dari AC ke DC, Adapun fungsi lainnya yaitu sebagai

penyalur aliran listrik dengan arus dan tegangan yang dapat ditentukan.

Dalam hal operasional igniter sebagai penyala awal pada pembakaran propelan pada roket, kedepannya pengguna dapat menetapkan kebutuhan arus listrik sebesar 1 Ampere dan kebutuhan tegangan sebesar 20 Volt. Hal ini dirasa dapat meningkatkan keselamatan pengguna, mengingat pengguna harus memperlakukan penyala awal dengan sebaik mungkin supaya dapat terhindar dari listrik statis yang tidak diinginkan serta kesalahan manusia. Ditetapkannya tegangan sebesar 20V dikarenakan dengan tegangan yang tidak terlalu kecil, diharapkan listrik statis yang memiliki tegangan rendah tidak memiliki tegangan yang cukup untuk menyalakan penyala awal. Maka dengan hal ini, dapat memberikan rasa aman terhadap pengguna pada saat pengoperasian penyala awal (Igniter).

b. Konektor sakelar

Konektor sakelar adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk memutuskan dan menyambungkan aliran listrik pada suatu *line*. Dalam hal operasional igniter sebagai penyala awal pada pembakaran propelan roket, kedepannya pengguna dapat menerapkan *sistem emergency pada box* panel electrical untuk dapat segera memutus arus pada saat terjadi hal yang tidak diduga. Pasalnya, sistem *emergency* yang ada pada saat proses pengujian roket, terletak pada ruang control elektrikal yang jaraknya tidak dekat dengan proses pengujian dan pemasangan igniter. Hal ini menjadi perhatian tersendiri bagi penulis, mengingat peluang adanya listrik statis dan kesalahan manusia terletak pada saat pemasangan igniter dilapangan. Maka dari itu, dibutuhkan *sistem emergency* atau *panic button* yang dapat berfungsi dengan cepat dengan jarak yang lebih terjangkau untuk menanggulangi kegagalan.

c. Kabel

Kabel merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal dari satu tempat ke tempat lain . dalam hal ini Dibutuhkan kabel yang proper untuk 1 Ampere dan 20 Volt, dan memiliki resistansi rendah agar delay time pada operasi igniter dapat dipangkas. Untuk itu, penulis melakukan suatu perhitungan untuk dapat menentukan ukuran Kabel yang sesuai dengan penyala awal, mengacu pada tabel Kemampuan Hantar Arus, sebagai berikut :

Tabel 4. 11. Kemampuan Hantar Arus (KHA)

Tabel Luas Penampang dan KHA-nya		
Luas Penampang (mm ²)	KHA (Amp)	Daya (Watt)
0.75	4	880
1.5	6	1320
2.5	10	2200
4	16	3520
6	20	4400
10	25	5500
16	35	7700
25	60	13200
35	100	22000
50	125	27500
70	160	35200
95	250	55000
120	292	64240

Sumber : Gtkabel.com

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung dan mengetahui I nominal, sebagai berikut :

$$I = P / (E \times \text{Cos Phi}) \quad \dots(1)$$

P = Daya (Watt)

E = Tegangan (V)

Mengacu pada spesifikasi yang diberikan, berdasarkan rumus (1), maka didapatkan I nominal sebesar 1,5625 atau 1,56 A.

Adapula rumus yang dapat digunakan untuk mengetahui hasil KHA, adalah :

$$\text{KHA} = 125\% \times I \text{ nominal} \quad \dots(2)$$

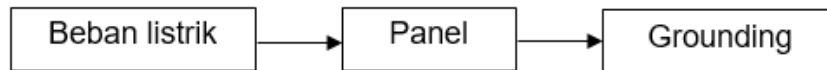
Maka, dari hasil pencarian yang ditemukan, didapatkan kebutuhan kabel untuk penyala awal pembakaran pada roket X, adalah kabel dengan luas penampang sebesar 0.75mm.

Adapun jenis kabel yang direkomendasikan untuk digunakan pada sistem keselamatan penyala awal yang dirancang, dan juga untuk mendukung sistem peluncuran, yaitu dengan menggunakan kabel berjenis tunggal. Kabel tunggal memiliki harga yang lebih terjangkau daripada varietas yang serabut karena biaya produksinya yang lebih murah. Kabel tunggal sederhana namun cukup tahan lama. Sebagai helai kabel tunggal dan tebal, kabel tunggal cukup tahan terhadap ancaman dan sangat mudah diproduksi. Dalam hal ini, kabel tunggal dapat menjadi solusi untuk diterapkan, karena minim terhadap kegagalan pada saat menghantarkan arus listrik.

d. *Grounding* (pentanahan)

Grounding listrik adalah suatu sistem instalasi yang bisa meniadakan beda potensial sebagai pelepasan muatan listrik berlebih pada suatu instalasi listrik dengan cara mengalirkannya ke dalam tanah. Sistem *Grounding* yang dibutuhkan pada saat pengoperasian penyala awal menjadi satu dengan sistem firing, dan diharapkan memiliki nilai resistansi yang minimal, sehingga listrik statis yang terdapat pada pengkabelan dapat terbangun menuju *ground*.

Adapun diagram alir yang umum digunakan untuk melakukan grounding, digambarkan pada gambar 4.9, sebagai berikut:



Gambar 4. 9. Alur Grounding

Sumber : Penulis.2021 dikutip dari yusmartato.2021

Analisis yang merujuk dalam penelitian yusmartato.2021, yang juga dapat menjadi referensi untuk spesifikasi *copper rod*/batang yang digunakan yaitu :

- a. Berbentuk tiang batang, dibuat dari baja galvanis atau baja berlapis dengan ukuran panjang yang digunakan 3,2 meter, dengan ukuran diameter 5/8 inchi atau utuh sepanjang yang tertanam didalam tanah.
- b. Ditanam dalam tanah secara horizontal
- c. Pada umumnya ditanam dalam tanah yang lembek atau tanah bebatuan (tanah rawah atau sawah) dengan cara di pantek dikarenakan tanah yang lembek tadi.
- d. Penanaman elektroda batang ketanah dengan resistansi jenis tanah 100 ohm meter dengan kedalaman 5 meter akan menghasilkan tahanan pbumian 20 ohm. Untuk menghasilkan tahanan yang lebih rendah sesuai dengan yang diinginkan maka biasa digunakan beberapa elektroda batang yang diparalel di permukaan tanah.

Dalam hal ini, sistem grounding yang direkomendasikan untuk diterapkan pada peluncuran roket, dapat menghindari instrumen peluncuran dari listrik statis. Hal ini sesuai dengan teori dari Briody.2000 yang mengatakan bahwa propelan, *squib*, atau penyala awal harus memiliki konduktivitas listrik yang cukup untuk mencegah

penumpukan muatan elektrostatis. Penyalaan yang tidak disengaja dari roket *ground-to-ground* diyakini disebabkan oleh pelepasan muatan listrik statis saat berada di dalam kendaraan *transporter-erector*.

e. Casing penyal awal

Casing merupakan suatu wadah yang digunakan untuk menampung bahan isian piroteknik padat pada penyal awal. Kebutuhan Casing yang utama adalah :

- a. Melting Point sebesar 600°C :
- b. Persebaran pembakaran merata
- c. Pelelehan casing sekejap.



Gambar 4. 10. Casing penyal awal roket X

Sumber : Dokumentasi penulis.2021

Melalui deskripsi kebutuhan pengguna dan gambar 4.10 diatas, angka 600°C didapatkan berdasarkan temperature yang dihasilkan suatu penyal awal sebesar $\pm 300^{\circ}\text{C}$, dan temperature propelan yang dibakar sebesar $\pm 3000^{\circ}\text{C}$. Dalam hal ini, ketika casing tidak terbakar dan tidak meleleh habis, casing dapat berpotensi menyumbat nozzle pada saat pembakaran. Untuk itu, desain casing didesain khusus untuk tidak terbakar oleh nyala igniter karena bermanfaat pada

persebaran api melalui lubang lubang penyala, tetapi terbakar habis pada pembakaran propelan sebagai upaya meminimalisasi penyumbatan pada lubang nozzle, dalam keselamatan baik manusia dan perangkat pada saat proses pembakaran.

f. *Squib*

Squib terdiri dari empat komponen penting, yaitu komposisi primer atau inisiator, kawat listrik, filamen listrik, dan sebuah tabung silinder logam yang membungkus tiga komponen tersebut. Dalam hal operasional igniter sebagai penyala awal pada pembakaran propelan pada roket X, kedepannya pengguna menetapkan kebutuhan *squib* yang memiliki waktu simpan yang lama, dan tidak mudah teroksidasi pada suhu ruangan.

Bahan filamen (kawat jembatan listrik, electrical bridge wire) yang telah digunakan dalam penelitian di LAPAN adalah kawat nikelin, Ni-Cr, Ø 0,1 mm; berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi kalor yang diperlukan sebagai energi aktivasi komposisi primer. Kawat nikelin mempunyai tahanan jenis sedang, relatif sukar berkarat sehingga dapat disimpan lama, murah dan mudah diperoleh.

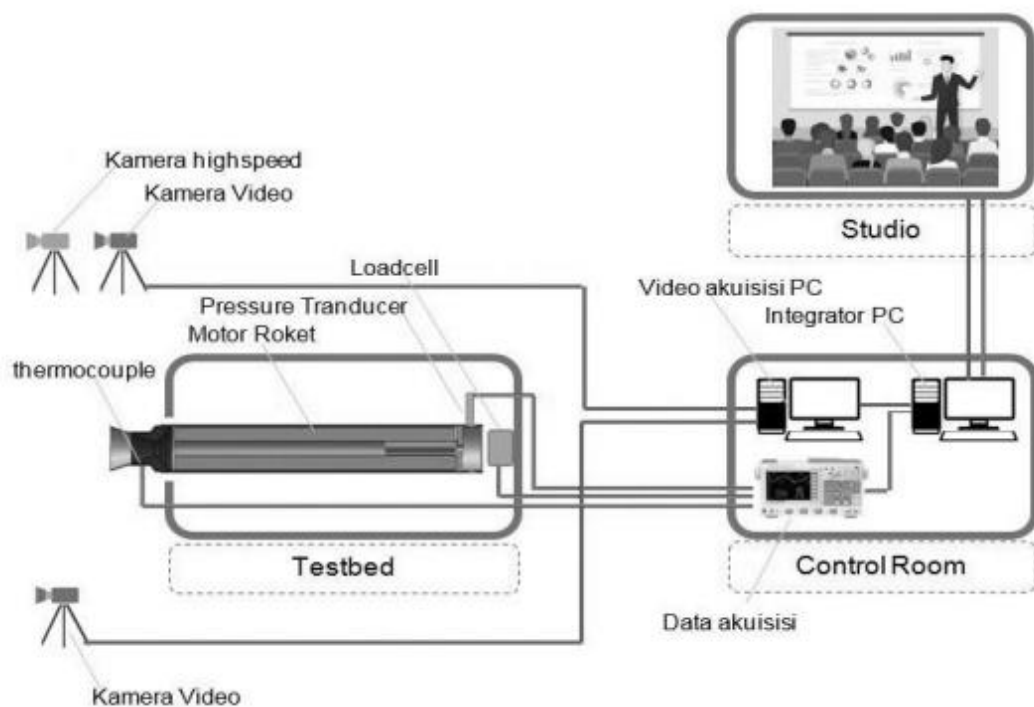
g. Piroteknik

Bahan peledak *squib*, dibutuhkan nilai kalor yang tinggi dan flameabilitas yang rendah. Oleh karena itu, filament pada *squib* diharapkan dapat memberikan efek penyalaan yang lebih lama dibandingkan dengan ledakannya. Kemudian bahan isian penyala awal, dibutuhkan nilai kalor yang tinggi dan juga flameabilitas yang rendah sesuai dengan pelepasan nilai kalor pada *squib*. Hal ini memerlukan nyala api yang dihasilkan oleh filament dapat membakar bahan isian penyala awal berupa serbuk, kemudian bahan piroteknik serbuk tersebut dapat membakar bahan isian penyala awal lainnya dengan bentuk pellet. Jika bahan isian penyala awal Bentuk pellet

sudah terbakar, hal tersebut dapat memicu pembakaran pada bahan propelan yang membutuhkan nilai kalor yang tinggi dengan flameabilitas yang sama dengan yang dihasilkan oleh penyalu awal (igniter)

4.6.2. Konsep Arsitektur

Konsep arsitektur yang dikembangkan adalah sebuah penyalu awal yang memiliki sistem fungsi keselamatan untuk pengembangan produk penyalu awal yang dioperasikan. Adapun *behavior* ataupun perilaku sistem yang terdapat dan digunakan oleh pihak instansi dalam peluncuran dan pengujian roket, terdapat pada gambar layout dibawah, sebagai berikut :



Gambar 4. 11. Layout sistem pengujian

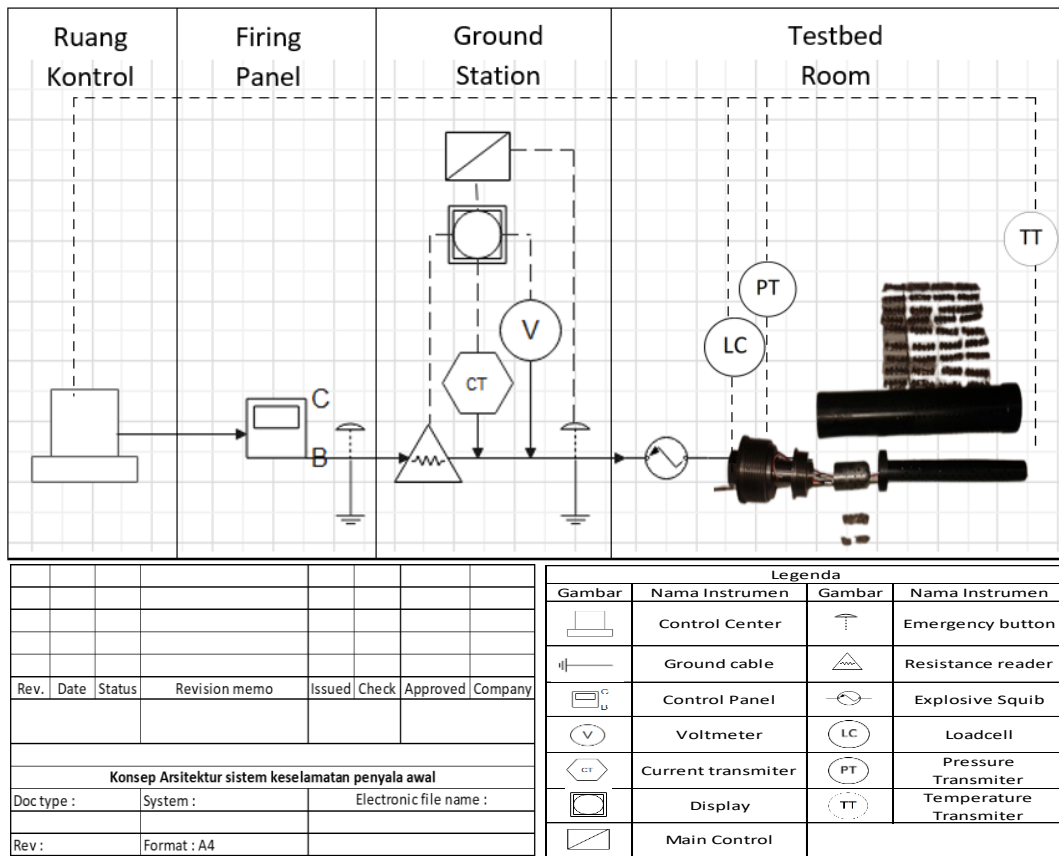
Sumber : Penulis, Dokumen Lapangan. 2021

Ditinjau dari gambar 4.11 layout pengujian tersebut, didapatkan penggambaran melalui tiga bagian. Bagian tersebut mencakup studio,

ruang kontrol dan bagian *testbed*. Bagian studio, yang berfungsi sebagai ruang dalam melakukan visualisasi objek agar dapat dilihat oleh pemangku kepentingan, yang dalam hal ini pengujian dan peluncuran roket yang dilakukan. Bagian kedua selanjutnya adalah ruang kontrol, dimana ruang kontrol berfungsi sebagai tempat dalam melakukan monitoring dan kontrol.

Ruang kontrol juga terdiri dari video akuisisi, integrator, dan data akuisisi yang menjadi sub bagian fungsi dalam pembacaan hasil pengujian yang dilakukan. Bagian ketiga adalah *testbed*, *testbed* merupakan bilik area pemasangan penyala awal yang berada dilapangan. *Testbed* memiliki beberapa sensor seperti *loadcell*, *pressure transducer*, *thermocouple*, dan kamera. Komponen tersebut berfungsi untuk membaca hasil pengujian roket dan meneruskan data pembacaan menuju ruang kontrol.

Berfokus pada sistem penyala awal *cap motor booster* yang juga berdasarkan tinjauan sistem layout LAPAN tahun 2021 yang digunakan dalam melakukan pengujian roket X kaliber 450mm, didapatkan desain arsitektur dalam bentuk skematik yang dirumuskan oleh penulis dengan mempertimbangkan sistem keselamatan penyala awal dalam pembakaran propelan pada roket X. Adapun desain yang dibuat, digambarkan pada gambar 4.12, sebagai berikut :



Gambar 4. 12. Konsep arsitektur sistem keselamatan pada jenis penyalat awal *cap motor booster* yang digunakan pada roket X kaliber 450mm

Sumber : Penulis.2021

Berdasarkan gambar konsep arsitektur diatas, didapatkan skema yang menjadi penggambaran akan berjalannya sistem keselamatan penyalat awal yang dibuat. Hal ini juga sesuai dengan Aspek *safeguard* dari inisiator muncul sebagai ciri desain dasar yang merujuk pada buku *ignition system for solid rocket motor* (Alka Suri, 2020) berupa :

- a. Ambang minimum daya listrik yang diperlukan untuk aktivasi penyalat awal sebagai pemacu pembakaran.
- b. Ketententuan sebagai penyumbatan tegangan (biasanya celah udara atau semikonduktor pada rangkaian listrik)

- c. Daya tanggap hanya terhadap gelombang energi atau pita frekuensi tertentu, sehingga dapat terhindar dari gangguan ataupun energi lain yang bergesekan.

Adapun analisis fungsi proses skematik yang dapat diambil berdasarkan penggambaran diatas, antara lain:

1. *Control Room*

Didalam ruang control terdapat beberapa fungsi yaitu mengamati proses berjalannya sistem peluncuran, memberikan dan mendapatkan informasi terkait data peluncuran, serta memberikan suplai listrik terhadap sistem firing panel. Pada ruang kontrol juga dilakukan inspeksi dengan memastikan pengkabelan dalam keadaan baik dan mengukur tahanan kabel igniter dan firing sebelum dan sesudah kabel dialiri oleh arus listrik.

2. *Firing Panel*

Setelah listrik terhubung menuju sektor firing panel, saat ini panel box berfungsi untuk mengatur berjalannya distribusi aliran listrik pada pengkabelan. Dalam desain konsep yang dirumuskan, sektor firing diberikan ruang untuk memutus distribusi aliran listrik. *Emergency button* berfungsi untuk memutus aliran listrik ketika terjadi kesalahan input besar tegangan dan arus listrik yang didistribusikan. Sektor ini memiliki konsep ketika *emergency button* ditekan, maka otomatis arus listrik akan didistribusikan menuju ground.

3. *Ground Station*

Selanjutnya listrik dari panel box menuju *ground station*. Disektor *ground station* ini, setelah didapatkan nilai resistansi dari kabel, listrik diukur arusnya menggunakan *Current Transmitter* (CT), dan tegangannya menggunakan *Voltmeter* (V). Sensor tersebut melakukan sensing dan meneruskan informasi menuju sistem display. Informasi yang diketahui kemudian diteruskan menuju Main Control

yang sebelumnya diprogram untuk mendapatkan informasi, dan memerintahkan aktuator yang dalam hal ini adalah *emergency button* untuk memutus aliran listrik menuju penyala awal, dan mengalirkan aliran listrik menuju ground ketika listrik tidak sesuai dengan program yang telah diberikan.

Dalam hal ini, listrik yang dibutuhkan untuk penyalaan sistem penyala awal adalah 20V dan 1A. Hal ini juga sesuai dengan teori dari Aspek safeguard sebagai ciri desain dasar yang merujuk pada buku *ignition system for solid rocket motor* (Alka Suri, 2020) berupa ambang minimum daya listrik yang diperlukan untuk aktivasi penyala awal sebagai pemacu pembakaran. Penerapan sistem ground station sesuai dengan desain yang dikonsepskan, dapat menjaga ambang minimum daya listrik yang diperlukan untuk aktivasi.

4. *Testbed Room*

Adapun alur sistem yang digunakan dalam proses penyalaan yang terdapat pada sektor *testbed room* adalah penyalaan penyala awal dan pembakaran propelan. Dalam proses ini, terdapat *explosive squib* yang dialiri arus listrik dan terhubung dalam sistem penyala awal. Pada saat penyalaan, terdapat proses sensing atau pembacaan yang dilakukan oleh komponen sensor berupa *Loadcell* (LC) yang digunakan untuk membaca bobot yang terdapat pada rangkaian penyala, *Pressure Transmitter* (PT) yang membaca tekanan pada bagian *cap* dari badan roket, serta *Temperature Transmitter* (TT) yang membaca kondisi suhu yang dihasilkan pada bagian *Nozzle*. Ketiga sensor tersebut melakukan proses pembacaan, dan informasi yang didapat diteruskan menuju *control room* awal yang akan menghasilkan penggambaran grafik distribusi tekanan, dan *temperature* dari hasil pembakaran.

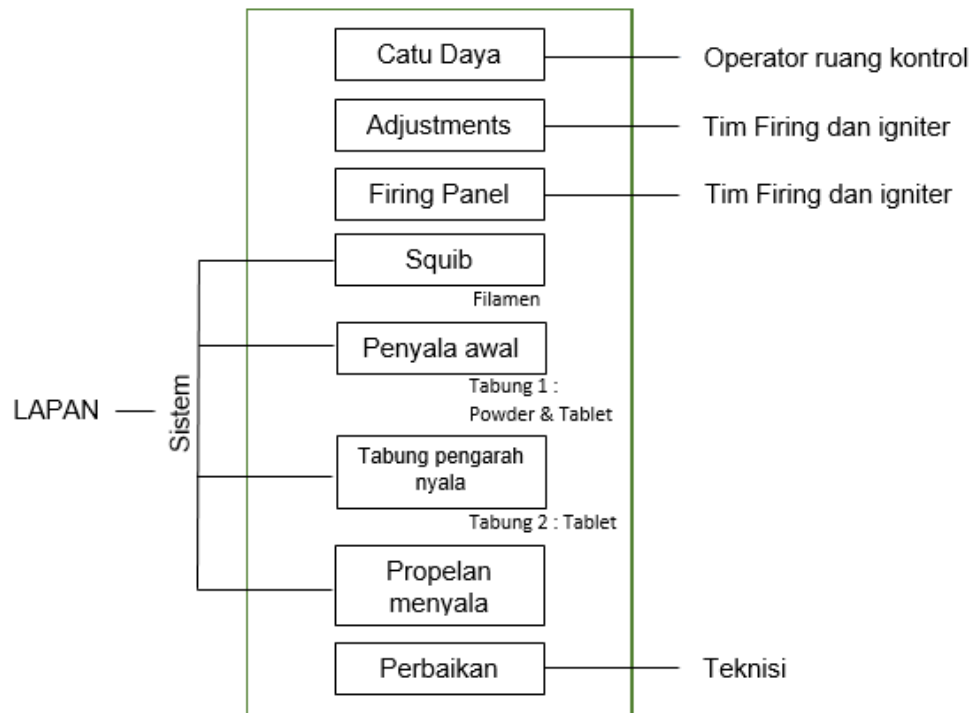
4.6.3. Use case

Dalam melakukan desain konsep arsitektur, dibutuhkan penggambaran akan suatu sistem yang terintegrasi. Langkah awal untuk melakukan pemodelan, tentu perlunya suatu diagram yang mampu menjabarkan aksi aktor dengan aksi sistem itu sendiri (Friedenthal, Moore, & Steiner, 2015), seperti yang terdapat pada use case diagram. Use case diagram adalah jenis diagram UML (Unified Modelling Language) yang menggambarkan hubungan interaksi antara sistem dan aktor.

Adapun, fungsi dari use case diagram sebagai berikut:

1. Berguna memperlihatkan proses aktivitas secara urut dalam sistem.
2. Mampu menggambarkan proses bisnis, bahkan menampilkan urutan aktivitas pada sebuah proses.
3. Sebagai *bridge* atau jembatan antara pembuat dengan konsumen untuk mendeskripsikan sebuah sistem.

Use Case dapat mendeskripsikan tipe interaksi antara pengguna penyala awal dengan sistem penyala awal. Penggambaran integrasi dalam diagram use case dalam penelitian ini, dapat dilihat pada gambar diagram dibawah:



Gambar 4. 13. Integrasi pengguna dengan sistem penyala awal

Sumber : Penulis.2021

Ditarik dari gambar diagram diatas, adapun deskripsi terkait penggunaan penyala awal (Igniter) yang terintegrasi dengan pengguna, antara lain :

- Catu daya, berada di ruang kontrol yang dioperasikan oleh petugas operator
- Adjustments*, merupakan tahapan penyesuaian asupan input berupa aliran listrik dengan kebutuhan penyala awal. Kegiatan yang dilakukan adalah pengecekan pengkabelan, resistansi kabel dan igniter, dan penyesuaian arus dan tegangan yang dibutuhkan.
- Firing panel*, berfungsi untuk mengatur berjalannya distribusi aliran listrik pada pengkabelan yang dioperasikan oleh tim Firing dan igniter.
- Perbaikan, merupakan kegiatan yang berfungsi untuk melakukan perbaikan ketika sistem tidak sesuai dan diketahui sebelum proses

peluncuran dilakukan, dan perbaikan ketika sistem tidak berjalan dengan baik ketika proses peluncuran dilakukan.

- e. Sistem, integrasi sistem penyala awal dimulai dari squib yang mendapatkan suplai listrik yang kemudian dapat membakar filament yang ada didalamnya. Filament tersebut memiliki tingkat kalor yang dilepaskan dan membakar piroteknik pada tabung 1 berupa ALNO powder, dan tablet $Pb_3O_4/KClO_4/C/S/NC$. Penyalaan tersebut diarahkan persebaran apinya didalam tabung pengarah nyala, yang kemudian api yang diarahkan bertujuan untuk membakar tablet $Pb_3O_4/KClO_4/C/S/NC$ yang kemudian membakar propelan untuk motor roket X.

4.6.4. Sistem operasi sebelum dan sesudah penerapan

Desain konsep yang dikembangkan adalah sebuah sistem penyala awal yang memiliki sistem fungsi keselamatan untuk pengembangan produk sistem yang dioperasikan. Sistem keselamatan dirancang untuk memberi rasa aman kepada pengguna ketika pengoperasian sedang berjalan.

Selain itu, sistem keselamatan juga dirancang untuk memberi dampak awal berupa efisiensi kegiatan yang dilakukan dalam tahapan pengoperasian sistem penyala awal. Adapun kegiatan yang dilakukan sebelum pengoperasian sistem penyala awal dibagi menjadi tiga tahapan yaitu, tahapan proses integrasi struktur dan isian igniter roket, tahapan uji firing igniter, dan tahapan pemasangan igniter roket pada testbed, hingga proses sistem berjalan untuk dilakukannya pengujian dan peuncuran roket. Adapun ketiga kegiatan tersebut, mencoba digambarkan pada tabel 4.12 dibawah, sebagai berikut:

Tabel 4. 12. Perbedaan tahapan proses

No.	Tahapan proses	Sistem operasi awal	Sistem operasi akhir
Tahapan Proses Integrasi Struktur dan Isian <i>Igniter</i> Roket RX450			
1	Preparasi bagian-bagian struktur dan isian <i>igniter</i>	✓	✓
2	Penimbangan dan pengukuran tahanan 2 buah <i>squib</i> untuk isian tabung penyala 1 (<i>cup</i>)	✓	✓
3	Penimbangan piroteknik ALNO <i>powder</i>	✓	✓
4	Penimbangan piroteknik pelet tablet	✓	✓
5	Pemasangan rangkaian 2 buah <i>squib</i> dan piroteknik ALNO <i>powder</i>	✓	✓
6	Memasukkan piroteknik pelet tablet ke dalam beberapa kantong, kemudian memasukkan ke tabung penyala 1	✓	✓
7	Memasukkan piroteknik pelet tablet ke dalam beberapa kantong, kemudian memasukkan ke dalam tabung penyala 2.	✓	✓
8	Integrasi struktur dan isian <i>igniter</i>	✓	✓
9	Pengukuran kembali tahanan <i>igniter</i> .	✓	
10	Penimbangan berat total <i>igniter</i> dan pengukuran panjang total <i>igniter</i> .	✓	✓
Tahapan Uji <i>Firing Igniter</i>			
11	Kabel <i>firing</i> dalam keadaan belum tersambung dengan <i>control room</i> , belum dialiri arus dan tegangan listrik.	✓	
12	Pengukuran tahanan <i>igniter</i> .	✓	
13	Penyambungan kabel <i>igniter</i> ke kabel <i>firing</i> .	✓	✓
14	Pengukuran tahanan <i>igniter</i> di <i>control room</i> .	✓	
15	Melepas kabel <i>igniter</i> dan menggantinya dengan rangkaian <i>squib</i> – piroteknik ALNO <i>powder</i> .	✓	
16	Pengukuran tahanan rangkaian <i>squib</i> – piroteknik ALNO <i>powder</i> di <i>control room</i> .	✓	
17	Memulai uji <i>firing</i> dengan memberikan arus dan tegangan dari <i>control room</i> sebesar Ampere, volt, kemudian penekanan tombol <i>firing</i> .	✓	✓
Tahapan Pemasangan <i>Igniter</i> Roket			
18	Pemasangan kabel penghubung <i>igniter</i> dengan <i>firing</i> .	✓	✓

19	Pengukuran tahanan <i>igniter</i> .	✓	
20	Penyambungan kabel <i>igniter</i> dengan kabel penghubung <i>igniter – firing</i> .	✓	
21	Mengoleskan <i>gasket shellac</i> pada permukaan luar ulir dudukan.	✓	✓
22	Pemasangan <i>igniter</i> di <i>cap</i> .	✓	✓
23	Memastikan <i>igniter</i> terpasang kuat di dudukannya di <i>cap</i>	✓	✓

Sumber : Penulis. 2021

Dalam sistem proses yang berjalan, berdasarkan data primer berupa hasil observasi, serta pencocokan dari data sekunder berupa protokol yang berlaku di LAPAN, didapatkan tiga tahapan sebelum sistem penyala awal dapat berjalan. Pada tahapan proses integrasi struktur dan isian *igniter* roket X, memiliki 10 kegiatan yang dilakukan. Karena sifatnya adalah perangkaian dan integrasi sistem, maka sistem keselamatan yang dikonsepskan tidak mengurangi dan memberikan dampak pada 10 kegiatan tersebut.

Pada tahapan uji *firing igniter* roket X, kegiatan yang dilakukan sebanyak 7 kegiatan. Penerapan sistem keselamatan dioperasikan dalam tahapan uji *firing igniter*, dan didapatkan 2 kegiatan yaitu pemasangan kabel *igniter* dan kabel *firing*, serta memulai uji *firing* dengan memberikan arus dan tegangan dari *control room* sebesar Ampere, volt, kemudian penekanan tombol *firing*. Hal tersebut terjadi karena desain konsep sistem keselamatan yang dibuat, dapat berperan dalam melakukan sensing dalam Pengukuran tahanan, dan memastikan nilai arus, tegangan, tahanan, dan integrasi grounding sesuai dengan yang diinginkan. Sehingga kegiatan uji *firing igniter* pada roket X dapat diminimalisasi kegagalannya dan risikonya.

Ditinjau dari tahapan pemasangan *igniter* roket, terdapat 6 kegiatan yang dilakukan. Penerapan sistem keselamatan dioperasikan dalam tahapan pemasangan *igniter* roket, dan didapatkan reduksi 2 kegiatan yaitu Pengukuran tahanan *igniter* serta

penyambungan kembali kabel *igniter* dengan kabel *firing*. Karena sifatnya adalah perangkaian dan integrasi sistem igniter terhadap roket, maka sistem keselamatan yang dikonsepsikan hanya mengurangi sebagian dan tidak memberikan dampak pada 6 kegiatan tersebut.

Pada dasarnya, sistem keselamatan penyala awal yang dikonsepsikan, dirancang untuk dapat memberikan rasa aman saat proses pengujian dan peluncuran roket berlangsung terhadap penggunanya. Sistem keselamatan dapat menghindarkan pengguna dari kegagalan sistem, squib dan igniter tidak menyala, hingga penyalaan dini dan ledakan yang diakibatkan dari malfungsi kelistrikan.

Sistem keselamatan memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan sistem yang digunakan pada proses pengujian sebelumnya, yaitu :

- a. Sistem keselamatan dirancang untuk dapat melakukan pembacaan nilai input listrik dari operator, dan kapan waktu yang tepat untuk mengalirkannya. Jika terjadi *human eror* berupa tombol power suplai tertekan dengan waktu yang belum ditentukan, dan juga kesalahan input suplai listrik, sistem akan secara otomatis dialirkan ke *grounding*. Hal ini dapat meminimalisasi berlebihan muatan listrik pada kabel hingga penyalaan dini dan ledakan. Hal ini juga sekaligus menghindarkan pengguna dari risiko yang tidak diinginkan.
- b. Sistem keselamatan dapat membaca nilai arus dan tegangan secara kontinyu pada kabel saat proses pengujian dan peluncuran roket berlangsung. Jika nilai arus dan tegangan pada kabel dinilai tidak mencukupi ataupun lebih dari nilai standar yang dibutuhkan untuk penyalaan squib dan igniter, maka aliran listrik tersebut secara otomatis dialirkan menuju *grounding*. Hal ini dapat menghindari risiko kegagalan penyalaan pada squib dan igniter.

Sehingga kegiatan pengujian dan peluncuran akan lebih efektif dengan tidak membuang waktu dan jadwal yang sudah ditetapkan.

- c. Sistem keselamatan dapat membaca nilai resistansi kabel yang digunakan ketika sebelum dan sesudah proses pengujian roket berlangsung. sistem ini dirancang untuk dapat memberi notifikasi merujuk pada display yang dipasang untuk pembacaan, agar dapat memberikan informasi kepada pengguna berupa nilai resistansi, dan pengguna dapat memutuskan apakah terdapat langkah adjustment berupa pergantian perangkat atau kabel sebelum dan sesudah pengujian atau peluncuran roket. Sistem ini dapat menghindarkan ketika nilai resistansi kabel tinggi, maka arus listrik yang mengalir pada kabel dapat mempengaruhi waktu delay pada penyala awal roket.

Keunggulan yang ditawarkan dari desain konsep sistem keselamatan penyala awal, diharapkan dapat memenuhi aspek *safeguard* dari inisiator muncul sebagai ciri desain dasar yang merujuk pada buku *ignition system for solid rocket motor* (Alka Suri, 2020) berupa :

1. Ambang minimum daya listrik yang diperlukan untuk aktivasi penyala awal sebagai pemacu pembakaran harus tetap terjaga.
2. Ketententuan sebagai penyumbatan tegangan (biasanya celah udara atau semikonduktor pada rangkaian listrik)
3. Daya tanggap hanya terhadap gelombang energi atau pita frekuensi tertentu, sehingga dapat terhindar dari gangguan ataupun energi lain yang bergesekan.

Hal ini sesuai dengan teori dari Briody.2000 yang mengatakan bahwa propelan, *squib*, atau penyala awal harus memiliki konduktivitas listrik yang cukup untuk mencegah penumpukan

muatan elektrostatis. Penyalaan yang tidak disengaja dari roket *ground-to-ground* diyakini disebabkan oleh pelepasan muatan listrik statis saat berada di dalam kendaraan *transporter-erector*.

4.6.5. Perbandingan nilai risiko awal dengan risiko residu

Dalam penelitian ini, nilai risiko awal bersumber dari hasil identifikasi risiko yang dapat terjadi dalam aktivitas pengujian. Sedangkan nilai risiko residu didapatkan melalui prediksi penurunan nilai risiko ketika pengendalian sudah dilakukan dan dengan tambahan penerapan sistem keselamatan penyala awal yang dikonsepsikan.

Berdasarkan hasil yang didapat dari penilaian risiko awal sebelumnya, pada proses pengujian motor roket X risiko kerja terhadap kesehatan manusia, terdapat 10 risiko yang terdiri dari 8 tingkat risiko "*low*", sementara itu 2 lainnya memiliki tingkat risiko "*High*" yang disebabkan oleh *likelihood* 1 dan tingkat *severity* 4 yang dapat mengakibatkan ledakan pada alat dan juga kematian pada pengguna.

Adapun cakupan penilaian berikutnya yaitu penilaian risiko terhadap perangkat penyala awal, berdasarkan penilaian yang dilakukan, didapat hasil dari penilaian risiko awal terdapat 13 risiko terhadap perangkat penyala awal, yang terdiri dari 9 nilai risiko rendah "*low*". Sementara itu terdapat 2 risiko yang menengah "*moderate*" yaitu konsleting kabel dan *casing* tidak terbakar yang dapat mengakibatkan cedera berat. Sektor lain yang memiliki 2 risiko yang tinggi "*High*" didapatkan pada risiko tidak terhubungnya ground yang dapat mengakibatkan listrik statis tidak menuju *ground*, penyalaan dini pada saat pemasangan, ledakan, yang dapat menyebabkan kematian.

Adapun penggambaran dalam Bentuk tabel disajikan pada tabel 4.13 bagian risiko awal, sebagai berikut :

Tabel 4. 13. Nilai risiko residu

NO	IDENTIFIKASI RISIKO		RISIKO AWAL				Jenis pengendalian risiko	Penetapan pengendalian	RISIKO RESIDU			
	Aktivitas / Produk / Jasa / Fasilitas	Uraian Bahaya	likelihood	severity	Nilai risiko	Tingkat Risiko			likelihood	severity	Nilai Risiko	Tingkat Risiko
1	Proses pemasangan penyala awal pada pengujian	Cuaca buruk (gerimis/hujan)	1	2	2	Low	A	SOP Penentuan kegiatan saat cuaca buruk	1	1	1	Low
2		cuaca terlalu panas	1	2	2	Low	A	SOP Penentuan kegiatan saat cuaca buruk	1	1	1	Low
3		angin kencang	1	2	2	Low	A	SOP Penentuan kegiatan saat cuaca buruk	1	1	1	Low
4		Terjatuh karena jalanan licin	1	2	2	Low	APD	Pelatihan & Menggunakan Sepatu Safety	1	2	2	Low
5		Terjepit test bed karena lengah	1	2	2	Low	A	Pelatihan & SOP Tahapan pemasangan Igniter	1	1	1	Low
6		Tersandung kabel yang akan / sudah dipasang	1	2	2	Low	A	Pelatihan & SOP Tahapan pemasangan Igniter	1	1	1	Low
7		Posisi tubuh tidak ergonomis	1	2	2	Low	A	Pelatihan & SOP Tahapan pemasangan Igniter	1	1	1	Low
8		ledakan pada saat pengujian dimulai	1	4	4	High	P	SOP Uji Firing, SOP Peluncuran roket & Penerapan desain konsep keselamatan igniter	1	3	1	Moderate

9		ledakan akibat penyalaan dini	1	4	4	High	P	SOP Uji Firing, SOP Peluncuran roket & Penerapan desain konsep keselamatan igniter	1	3	1	Moderate
10		Tersengat listrik	2	2	4	Low	AP D	Menggunakan Sepatu, sarung tangan, isolator safety	1	2	2	Low
11	Catu daya	Arus tidak sesuai dengan kebutuhan (kurang dari)	3	1	3	Low	A	SOP Uji Firing & Penerapan desain konsep keselamatan igniter	1	1	1	Low
12	Konektor sakelar	Konektor sakelar tidak berfungsi semestinya	2	1	2	Low	P	SOP Uji Firing & Penerapan desain konsep keselamatan igniter	1	1	1	Low
13	Kabel	Kabel terkelupas	2	2	4	Low	A	SOP Uji Firing	2	2	4	Low
14		Luas penampang tidak sesuai	3	1	3	low	A	SOP Uji Firing	3	1	3	Low
15		Resistansi tinggi	3	1	3	low	P	SOP Uji Firing & Penerapan desain konsep keselamatan igniter	2	1	2	Low
16		Konsleting	2	3	6	Moderate	P	SOP Uji Firing & Penerapan desain konsep keselamatan igniter	1	3	3	Moderate
17	Grounding	Grounding tidak terhubung	1	4	4	High	P	SOP Uji Firing & Penerapan desain konsep keselamatan igniter	1	3	3	Moderate
18		Resistansi tinggi	1	4	4	High	P	SOP Uji Firing & Penerapan desain konsep keselamatan igniter	1	2	2	Low

19	Casing	Casing tidak terbakar	2	3	6	Moderate	P	SOP Uji Firing, SOP Peluncuran roket & Penerapan desain konsep keselamatan igniter	1	3	3	Moderate
20		Casing terbakar terlalu cepat	3	1	3	Low	A	SOP Peluncuran Roket	2	1	2	Low
21	Squib	Tidak menyala	3	1	3	Low	A	SOP Peluncuran Roket	2	1	2	Low
22	Isian Igniter	Piroteknik tidak menyala	3	1	3	Low	A	SOP Peluncuran Roket	2	1	2	Low
23		Piroteknik menyala namun propelan tidak menyala	3	1	3	Low	A	SOP Peluncuran Roket	2	1	2	Low

Sumber : Penulis. 2021

Berdasarkan tabel 4.13 diatas, didapatkan data nilai risiko residu melalui prediksi penurunan nilai risiko ketika pengendalian sudah dilakukan, dan dengan tambahan penerapan sistem keselamatan penyala awal yang dikonsepskan. Adapun hasil yang didapatkan dari nilai risiko residu, didapatkan nilai risiko yang mengalami penurunan 1 hingga 2 angka. Walaupun di banyak sektor tidak mengalami perubahan tingkat risiko, namun penurunan tersebut sudah berhasil menjadi indikasi dalam menghindari risiko bahaya pada aktivitas pengujian dan peluncuran roket terhadap manusia, dan perangkat penyala awal itu sendiri. Penurunan tersebut terjadi karena memaksimalkan standar protokol yang ada, serta menerapkan sistem keselamatan penyala awal yang dikonsepskan.

Adapun tingkat risiko yang mengalami penurunan, yaitu pada risiko ke 8 dan 9, yang mengalami penurunan dari tingkat "High" menuju "Moderate". Hal ini disebabkan oleh rancangan desain konsep yang dibuat, dapat menghindari penyala awal dari risiko ledakan

saat pengujian maupun penyalaan dini. Ledakan ataupun penyalaan dini sama sama dapat disebabkan oleh listrik statis, gangguan hantaran listrik pada proses *reentry*, dan kekeliruan dalam memasukan nilai input yang lebih tinggi yang dapat membuat grafik pada penyala awal sangat tinggi ketika penyala awal dinyalakan. Ketiga risiko tersebut dapat diminimalisasi dengan penerapan sistem keselamatan penyala awal yang dikonsepsikan dengan fokus pada sistem firing dan otomatisasi grounding ketika terdapat listrik statis, hantaran listrik mendadak, serta kesalahan input.

Sedangkan pada risiko ke 17 dan 18, juga mengalami penurunan tingkat risiko dari “High” menuju “Moderate” dan “Low”. Penurunan tersebut disebabkan oleh rancangan desain konsep yang dibuat dapat melakukan sensing ketika resistansi dalam kabel yang tinggi, serta keterhubungan pengkabelan yang tidak sesuai dengan sistem. Sehingga eror yang terjadi pada sistem penyala awal sebelum dilangsungkan proses pengujian, dan peluncuran roket, dapat diketahui dan meminimalisasi kegagalan tersebut. Adapun jenis pengendalian risiko dijelaskan pada sub bab 4.6.6 hirarki pengendalian risiko.

4.6.6. Hirarki pengendalian risiko

Pengendalian risiko merupakan kegiatan sebagai upaya dalam menurunkan nilai risiko yang terdapat pada suatu proses (Urrohmah & Riandadari, 2019). Dalam sektor penilaian risiko, dilakukan dengan pendekatan HIRADC dengan tiga tahapan yaitu identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan pengendalian sesuai dengan penelitian (Emilia et al., 2018) dan juga sesuai dengan penerapan yang terdapat di instansi. Adapun pengendalian yang dilakukan dapat digambarkan pada tabel 4.14, sebagai berikut :

Tabel 4. 14. Hirarki Pengendalian Risiko

No	Kode	Hirarki Pengendalian Risiko			No. Risiko pada tabel 4.13 risiko residu
1	E	Eliminasi	Eliminasi Sumber Bahaya	Tempat Kerja / Pekerjaan Aman	
2	S	Substitusi	Substitusi Alat/Mesin/Bahan		Mengurangi Bahaya
3	P	Perekayaan	Modifikasi/Perancangan Alat/Mesin/Tempat Kerja yang Lebih Aman		8,9,12,15,16,17, 18, & 19
4	A	Administrasi	Prosedur, Aturan, Pelatihan, Durasi Kerja, Tanda Bahaya, Rambu, Poster, Label	Tenaga Kerja Aman Mengurangi Paparan	1,2,3,5,6,7,11,13,14,20,21,22, & 23
5	APD	APD	Alat Perlindungan Diri Tenaga Kerja		4 & 10

Sumber : Penulis. 2021

Hirarki pengendalian risiko merupakan hirarki yang dilakukan secara berurutan sampai tingkat risiko/bahaya berkurang menuju titik yang aman. Hirarki pengendalian tersebut antara lain ialah eliminasi, substitusi, perekayasaan, administrasi dan alat pelindung diri (APD). Hirarki pengendalian risiko pada sistem keselamatan penyalah awal yang sesuai dengan kebutuhan saat ini adalah dengan melakukan tindakan dalam bentuk pengaturan perekayasaan (P), administrasi (A), serta alat pelindung diri (APD).

Terdapat nomor risiko yaitu 8, 9, 12, 15, 16, 17, 18, & 19 yang dapat dilihat dari tabel 4.13 pada sub bab nilai risiko residu yang memerlukan tindakan perekayasaan. Tindakan perekayasaan sendiri berupa pemanfaatan desain konsep sistem keselamatan yang sudah dirancang dapat mengurangi nilai risiko yang didapatkan, serta memberikan rasa aman saat proses pengujian dan peluncuran roket

berlangsung terhadap penggunanya. Sistem keselamatan dapat menghindarkan pengguna dari kegagalan sistem, squib dan igniter tidak menyala, hingga penyalaan dini dan ledakan yang diakibatkan dari malfungsi kelistrikan.

Adapun tindakan administrasi yang dilakukan pada tabel 4.13 nomor risiko 1, 2, 3, 5, 6, 7, 11, 13, 14, 20, 21, 22, & 23, adalah dengan pembuatan Standar Operasional Prosedur (SOP) penentuan kegiatan saat cuaca buruk. Adapun SOP tahapan pemasangan igniter serta SOP peluncuran roket sudah dilakukan dalam kegiatan berbentuk protokol, yang direkomendasikan dengan dilakukan kegiatan pelatihan, untuk mendukung berjalannya proses pengujian dan peluncuran roket. Adapun penggunaan APD pada nomor risiko 4, dan 10, juga direkomendasikan untuk operator lapangan yang bersinggungan langsung dengan roket dan sistem penyalannya, yang dimaksudkan untuk mengurangi paparan jika terjadi risiko yang tidak diinginkan.